COLECCION ATLAS

C **Ciencias**

ATLAS DE ANATOMIA HUMANA
ATLAS DE ANATOMIA ANIMAL
ATLAS DE MINERALOGIA
ATLAS DE ASTRONOMIA
ATLAS DE BOTANICA
ATLAS DE LAS RAZAS HUMANAS
ATLAS DE GEOLOGIA
ATLAS DE BIOLOGIA
ATLAS DE QUIMICA
ATLAS DE FISICA
ATLAS DE METEOROLOGIA
ATLAS DE FISICA NUCLEAR
ATLAS DE ZOOLOGIA (INVERTEBRADOS)

A **Ciencias Aplicadas**

ATLAS ELEMENTAL DE CIRUGIA
ATLAS DE LA ENFERMERA

L **Letras**

ATLAS DE HISTORIA UNIVERSAL
ATLAS DE HISTORIA DEL ARTE
ATLAS DE LA VIDA DE JESUS

ediciones J

EDICIONES JOVER, S. A. - BARCELONA

M. FONT
SAN
MIGUEL

ATLAS DE GEOLOGIA

EDICIONES
JOVER, S. A.

C

M. FONT-ALTABA
CATEDRATICO DE CRISTALOGRAFIA Y MINERALOGIA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA
A. SAN MIGUEL ARRIBAS
CATEDRATICO DE PETROLOGIA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA

ATLAS de GEOLOGIA

Depósito legal B. 31.254 - 1964
N.° R.° B. 856 - 63 - 64

Es una publicación de
EDICIONES JOVER, S. A.
Pasaje Domingo, 1
BARCELONA - 7

I. G. FERRE OLSINA - BARÑA.



PRÓLOGO

La Geología, una de las Ciencias más modernas, es, por definición, la ciencia de la Tierra, y, como tal, estudia su composición, su estructura y los fenómenos que se producen y se han producido en ella desde la hora cero de los tiempos geológicos hasta nuestros días. Ciencia poco independiente, su desarrollo va estrechamente unido al de la Astronomía, la Física, la Química y la Biología.

La Tierra no es una cosa estable o muerta, sino que, sometida a fuerzas internas y externas, en razón a su energía endógena y a su posición en el Universo, presenta una continua evolución, un presente y un pasado que la Geología reconstruye de forma asombrosa.

El destacado papel alcanzado por la Geología en la vida moderna, poco conocido todavía del público en general, se comprende teniendo en cuenta que minerales, metales y combustibles son materias fundamentales sobre las cuales se apoya el desarrollo industrial, y aun la seguridad, de las naciones, y que son los geólogos los encargados de localizar estas materias que guarda el subsuelo.

Toda la industria de la construcción, toda la amplia gama de las industrias metalúrgica, petrolífera y del carbón, la ingeniería minera, la busca de aguas subterráneas, etc., constituyen una muestra de los variados campos de aplicación que presenta la moderna geología y de su trascendencia en la economía de las naciones.

Por lo tanto, los estudios geológicos, aparte su indudable interés cultural y científico, presentan hoy esta nueva faceta de signo económico, que abre a los jóvenes estudiosos un campo de trabajo extraordinariamente atractivo y prometedor.

A. SAN MIGUEL

LA TIERRA EN EL UNIVERSO

La Tierra no es sino un planeta del sistema solar al que fuerzas enigmáticas, que denominamos *gravitación universal,* sostienen en el espacio y hacen girar alrededor del Sol.

El *sistema solar* está constituido por el Sol, nueve planetas, treinta y un satélites, miles de asteroides, cometas e incontables meteoritos.

A su vez el sistema solar forma parte de una enorme nebulosa en espiral o *galaxia* formada por la acumulación de miles de millones de estrellas, que conocemos con el nombre de Vía Láctea o Camino de Santiago por formar en el cielo una ancha franja de color blanquecino.

Esta, a su vez, no es sino una simple unidad del sistema de galaxias que abarca toda la materia del Cosmos, calculándose en más de un billón las existentes.

El *Sol,* este astro gigantesco en cuyo interior cabrían 1.250.000 Tierras, no es sino una estrella de tipo medio entre los cien billones que se calcula existen en la Vía Láctea. Su energía radiante proviene de la trasmutación atómica del hidrógeno en helio, con la consiguiente liberación de energía.

La *Tierra,* este minúsculo planeta perdido en la inmensidad del Universo, presenta una condición particular, la existencia de oxígeno y agua en su atmósfera, de la que carecen al parecer los otros planetas, y lo que la hace especialmente apta para el desarrollo de la vida. Su forma es más bien la de un esferoide achatado, siendo su radio polar unos 21 km. menor que el ecuatorial.

MOVIMIENTOS DE LA TIERRA

Mantenida sobre su órbita solar por la fuerza de atracción, la Tierra gira sobre ella misma de O. a E., invirtiendo 24 horas en una rotación completa, lo que origina los días y las noches. Al mismo tiempo gira alrededor del Sol, describiendo en el espacio una órbita en uno de cuyos focos se sitúa el Sol, y del cual dista unos 150 millones de kilómetros. Cada 365 días, 5 horas y 48 minutos, la Tierra da una vuelta completa alrededor del Sol, a una velocidad media de 29,8 km./s.

El eje de rotación de la Tierra está inclinado, respecto a la *eclíptica* o plano de la órbita terrestre, un ángulo de 67° 33′, lo que hace que una parte del año el Polo Norte se mantenga inclinado hacia el Sol y la otra parte en dirección contraria a él, provocando las estaciones. Los puntos donde se encuentran la circunferencia ecuatorial y la eclíptica se llaman *equinoccios* de primavera y de otoño, y las posiciones más alejadas del Ecuador, a 23° 27′ de latitud N. y S., *solsticios,* de verano e invierno respectivamente.

LA LUNA

Es el satélite de la Tierra y está situado a una distancia media de 384.400 km. Su densidad es de 3,3, siendo su velocidad media de traslación alrededor de la Tierra de 1 km./s. La Luna gira sobre su eje en un tiempo que es exactamente el mismo que invierte en efectuar su traslación alrededor de la Tierra, es decir, 27 días y 7 horas, siendo ésta la causa de que la Luna presente siempre la misma cara hacia la Tierra.

Generalmente se admite que la Luna se separó de la Tierra, cuando ésta era aún una masa líquida incandescente, a consecuencia de la formación de una formidable ola de marea.

EL ORIGEN DE LA TIERRA

El problema del origen de la Tierra y del sistema solar es uno de los más arduos y apasionantes de la Cosmología. La regularidad física, química y dinámica que presenta el sistema solar no puede ser casual, y atestigua la existencia de una ordenación superior, de un Creador.

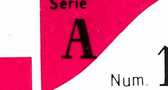
Según la teoría de Laplace (1796), la Tierra es hija del Sol, y este astro resultó asimismo de la condensación, hace por lo menos unos 3.000 millones de años, de una gigantesca nebulosa en espiral, de elevada temperatura, que se extendía hasta más allá de la órbita de Neptuno y que estaba animada de un movimiento uniforme de rotación. Su parte central constituía una especie de núcleo de materia condensada, envuelta por materia difusa. La fuerza centrífuga creciente llegó a desgajar de la masa gaseosa anillos ecuatoriales sucesivos que, ulteriormente, se condensaron, dando lugar a los planetas.

La teoría se basa fundamentalmente en las investigaciones de Herschell sobre la evolución de las nebulosas y en observaciones como la forma esferoidal de los planetas; la temperatura del Sol; etcétera.

Existen serias objeciones contra esta teoría, que impiden aceptarla totalmente y que han obligado a la formulación de otras hipótesis.

Pero sea la Tierra hija natural del Sol, o sólo su hija adoptiva, lo que la mayoría de las teorías cosmogónicas aceptan es que la Tierra pasó sucesivamente por los estados gaseoso y líquido antes de llegar a su consolidación.

Atlas de GEOLOGIA



POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

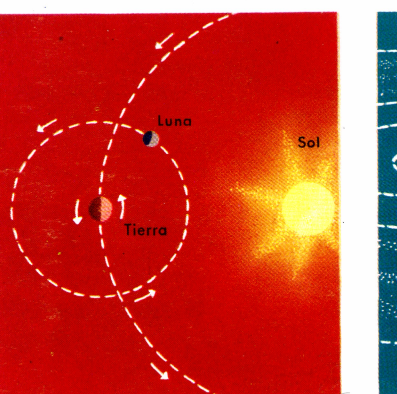
LA TIERRA

LA TIERRA EN EL UNIVERSO



Nebulosa espiral de Andrómeda

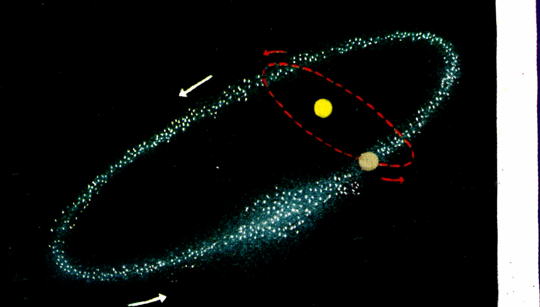
Tamaño de los Planetas comparados con una porción del Sol



Movimientos de rotación y traslación de la Tierra y la Luna



El Sistema Solar visto desde más allá de Júpiter



Situación del anillo de meteoritos en relación con la órbita terrestre



La Luna

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS



LA TIERRA

CONSTITUCION INTERNA DE LA TIERRA

CONSTITUCION INTERNA DE LA TIERRA

Los conocimientos actuales sobre la constitución interna de la Tierra se basan fundamentalmente en medidas indirectas tales como el valor de la gravedad y la propagación de las ondas sísmicas por el interior del globo terráqueo. La Tierra no es homogénea; todas las medidas efectuadas conducen a una densidad media de 5,5, y la densidad media de los materiales de la corteza es de 2,6; luego, en profundidad, deben existir materiales más densos, que en el núcleo deben alcanzar valores entre 8 y 10.

ANOMALIAS DE LA GRAVEDAD

La atracción que ejerce la Tierra sobre los cuerpos se llama *gravedad*. El valor de esta atracción no es igual en toda la superficie terrestre, sino que varía principalmente con la latitud, por la diferencia entre el radio ecuatorial y el polar.

Las medidas gravimétricas muestran, de una manera general, valores inferiores al valor teórico, o *anomalías negativas*, sobre los continentes, y valores superiores, o *anomalías positivas*, sobre las grandes llanuras y los océanos. Este fenómeno se interpreta en el sentido de que el exceso aparente de masa de las cadenas montañosas y continentes está contrarrestado por una menor densidad de sus materiales, mientras que el defecto de masa de los océanos y llanuras queda compensado por un aumento en la densidad del material interior. De acuerdo con estas ideas, a la parte de la litósfera esencialmente formada de rocas graníticas, ligeras y ricas en Si y Al se la denomina *sial*, mientras que a la capa inferior, esencialmente integrada por rocas básicas más densas y ricas en Si y Mg, se la denomina *sima*.

TEORIA DE LA ISOSTASIA

Isostasia es la condición de equilibrio ideal al que tiende la Tierra en virtud de la gravitación.

Las masas continentales formadas de *sial* se disponen como flotando sobre la capa inferior de sima, enraizándose en ella. Allí donde la masa siálica es más potente, desciende más profundamente en el sima, y así los bloques siálicos tienden a equilibrarse. Los bloques más altos son los que más se hunden, compensándose la altura de los bloques continentales por un enraizamiento en el sima viscoso, de forma que cada bloque desplaza una cantidad igual a su propia masa.

Los procesos geológicos externos e internos trastornan el estado ideal de equilibrio isostático que la gravitación tiende a establecer. Así, los bloques descargados por la continua erosión se elevan, mientras que las zonas cargadas con los productos de erosión se hunden, restableciéndose el equilibrio isostático. Existe, pues, un substrato basáltico continuo bajo una costra siálica discontinua.

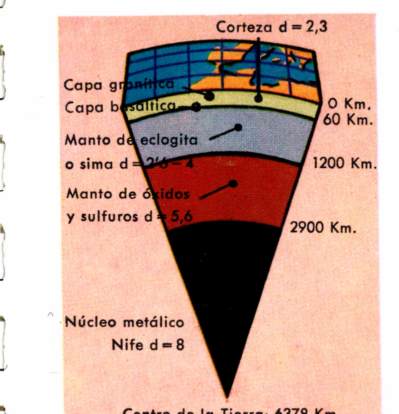
ESTRUCTURA CONCENTRICA DE LA TIERRA

Las investigaciones geofísicas sobre la velocidad de propagación de las ondas sísmicas a través de la Tierra evidenciaron la existencia de una serie de cambios bruscos de esta velocidad, o *discontinuidades*, indicadoras de cambios físicos o químicos de la materia, que han permitido una interpretación concéntrica de la estructura de nuestro Globo.

La capa más externa de la Tierra, denominada corteza o litósfera, con un espesor variable entre 30 y 60 km., viene delimitada por la *discontinuidad de Mohorovicic*, que nos marca el principio del sima. En la corteza se admiten dos capas, de acuerdo con la velocidad de las ondas sísmicas: la *capa granítica* (5,5 km./s.) y la *capa basáltica* (6,25 km./s.).

El límite inferior del sima viene señalado por otra importante discontinuidad (8 km./s.) a los 1.200 km. de profundidad. A los 2.900 km. se sitúa otra discontinuidad (13 km./s.), que delimita el final de la capa de óxidos y sulfuros y el comienzo del núcleo terrestre. Este último, de densidad 10, se supone constituido principalmente a base de Fe, 90 %, y níquel, 8 %, *NIFE*, o sea una mezcla similar a la que presentan los meteoritos metálicos.

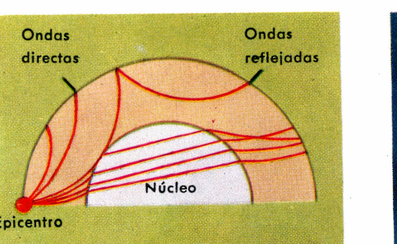
En cuanto al estado físico del núcleo, en razón a las enormes presiones que soporta, tres millones de veces superior a la de los materiales de la superficie, y a la elevada temperatura, del orden de 6.000°, debemos considerarle en un estado físico muy particular, al que se denomina de *seculo-fluidez*, que le permite comportarse como plástico para fuerzas seculares y como rígido para fuerzas rápidas del tipo de los movimientos sísmicos.



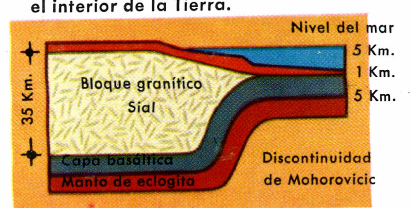
Estructura zonar de la Tierra

Mar
Sial d = 2,8
Sial
Sima d = 3,2

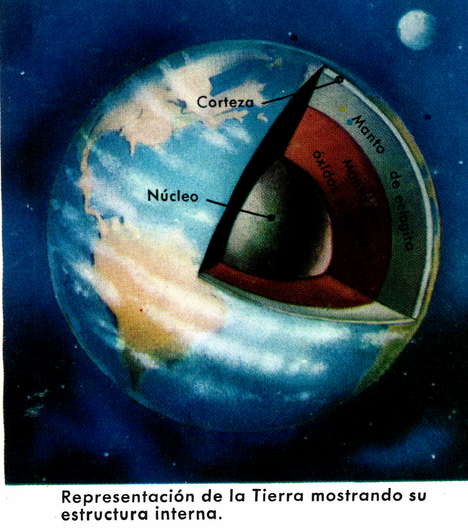
Anomalías de la gravedad



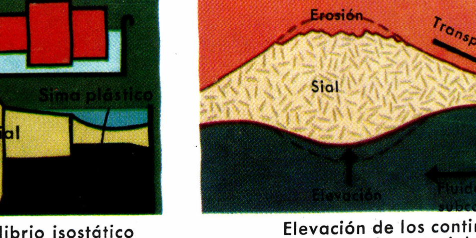
Transmisión de las ondas sísmicas en el interior de la Tierra.



Corte de la corteza terrestre



Representación de la Tierra mostrando su estructura interna.





Interpretación del equilibrio isostático según Airy.

Erosión
Transporte
Sedimentación
Sial
Hundimiento
Elevación

Elevación de los continentes por descarga de materiales.

GEOQUIMICA

ORGANIZACION DE LA MATERIA

El universo físico está compuesto de lo que llamamos *materia*. Esta se encuentra organizada jerárquicamente según diferentes *grados de agregación*.

En la base de esta escala jerárquica tenemos las partículas elementales descubiertas por la Física atómica: *protones, neutrones* y *electrones*. La agregación de protones y neutrones origina los *núcleos atómicos*, y la agregación a éstos de los electrones nos da los *átomos* de los diversos *elementos*.

El *átomo*, de dimensiones extraordinariamente pequeñas, está, pues, constituido por un núcleo, portador de protones cargados positivamente y de neutrones sin carga, y por una envoltura de electrones, cargados negativamente, que giran rápidamente alrededor de él según trayectorias orbitales.

Así, la estructura del átomo la podemos comparar, en cierto modo, con un sistema solar submicroscópico, con un sol central, el núcleo atómico, y los planetas, representados por los electrones girando en torno al núcleo.

Los 98 elementos conocidos hasta hoy se explican como si proviniesen del átomo de hidrógeno, por adición sucesiva de protones y neutrones en el núcleo y el correspondiente aumento del número de electrones, dispuestos de una manera regular en una o más capas, hasta siete.

Los átomos de los elementos se combinan entre sí para formar *moléculas* y *compuestos*; los *minerales* son compuestos cristalinos naturales. Finalmente, la asociación de minerales nos da las *rocas*, que componen la *corteza terrestre*.

La Geoquímica, moderna ciencia nacida de la estrecha colaboración entre la Química y la Geología, tiene como objetivo el estudio de los elementos químicos que constituyen la materia terrestre, su abundancia, distribución, combinación y emigración y, en definitiva, su comportamiento geoquímico y leyes por las que se rige.

Según los porcentajes medios obtenidos por la Geoquímica, utilizando métodos de análisis de rocas y minerales (cuadro X), se deduce que O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na y K son los elementos más abundantes en la corteza y constituyen el 98,6 % de la misma; que el oxígeno ocupa, en volumen, el 92 % de la corteza; de ahí que Goldschmidt la denominara *oxisfera*.

La unidad fundamental de todos los silicatos y, por consiguiente, de la arquitectura de la corteza es el $[SiO_4]^{4-}$ resultante de la unión de cuatro $[O]^{2-}$ al $[Si]^{4+}$, adoptando una disposición tetraédrica. Esta unidad o ladrillo elemental se enlaza con Al, Fe, Mg, Ca, N, K, y H_2O principalmente, dando lugar a silicatos diversos. La corteza está formada fundamentalmente por silicatos, que contienen en su mayoría aluminio.

CICLOS GEOQUIMICOS

Los materiales que constituyen la litósfera se mueven y transforman según un sistema cíclico. Las rocas no son estables, sino que tienen acción y movimiento tanto físicos como químicos, a través de la tectónica y de la química de la corteza.

El ciclo de los agentes geológicos externos con los procesos de erosión, transporte y sedimentación, y el de los agentes geológicos internos con los procesos de metamorfismo, orogénesis, plutonismo y volcanismo, provocan la actuación de dos ciclos geoquímicos llamados externo e interno.

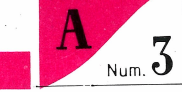
Ciclo geoquímico de un elemento es el conjunto de emigraciones que este elemento efectúa en la corteza terrestre. El estudio del ciclo geoquímico de los elementos es de gran importancia para el conocimiento de la historia geoquímica de cada elemento. Así, en torno del ciclo geoquímico del carbono y del silicio podemos decir que giran la Bioquímica y la Geoquímica.

Por debajo de los 700 km. de profundidad, se acepta la posibilidad de haberse alcanzado un completo equilibrio termodinámico y aun químico de los elementos terrestres. La Tierra, en su evolución, tiende a alcanzar un equilibrio termodinámico y geoquímico, con un aumento en la entropía y un decrecimiento en su energía libre.

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

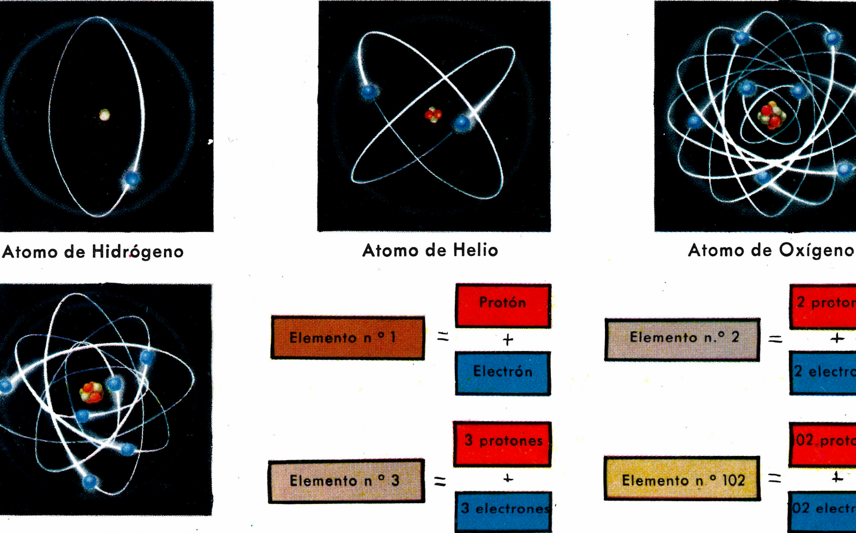
LA TIERRA



GEOQUIMICA



Organización de la materia



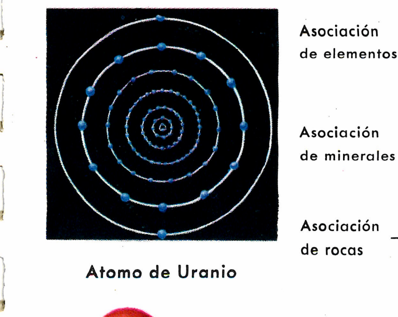
Atomo de Hidrógeno

Atomo de Helio

Atomo de Oxígeno

Atomo de Carbono

Elemento n.° 1	=	Protón + Electrón	
Elemento n.° 2	=	2 protones + 2 electrones	
Elemento n.° 3	=	3 protones + 3 electrones	
Elemento n.° 102	=	102 protones + 102 electrones	

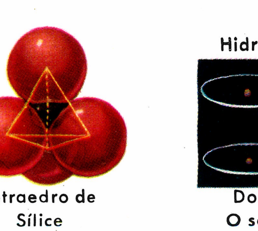
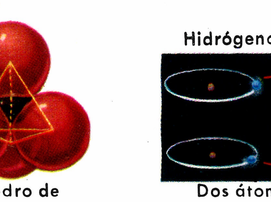


Atomo de Uranio

Asociación de elementos – Compuestos { Orgánicos; Inorgánicos - Minerales { Elementos, Sulfuros, Sales haloideas, Oxidos, Carbonatos, Sulfatos, Fosfatos y arseniatos, Silicatos, Minerales radiactivos

Asociación de minerales – Rocas { Sedimentarias, Metamórficas, Plutónicas, Volcánicas

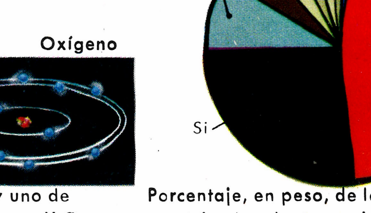
Asociación de rocas – Corteza terrestre

Tetraedro de Sílice



Dos átomos de H y uno de O se unen para formar H_2O



Porcentaje, en peso, de los elementos más abundantes en la corteza.

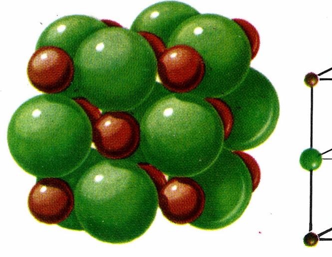
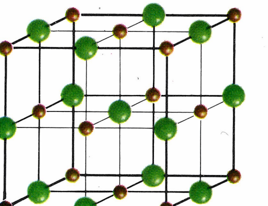
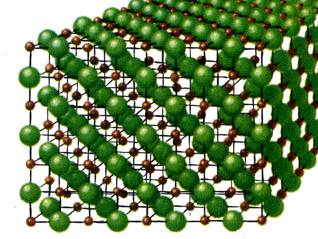
Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

Serie **B** Num. **1**

MINERALOGIA

GENERALIDADES

Disposición iónica, Celda fundamental y Constitución interna de un cristal de sal gema

MINERALOGIA

¿QUE ES UN MINERAL?

Se denominan minerales a los seres naturales que poseen composición química definida, tienen sus partículas elementales (átomos, iones y moléculas) ordenadas sistemáticamente y pertenecen a la parte sólida de la corteza terrestre.

Los minerales pueden presentarse en masas informes o bien con aspecto de poliedros geométricos (cubos, octaedros, prismas) más o menos regulares, constituyendo *cristales*. No obstante, en ambos casos la materia que forma los minerales tiene sus elementos dispuestos geométricamente, repitiéndose indefinidamente esta manera de ordenarse: *los minerales están formados por materia cristalina.*

La materia cristalina tiene elementos de simetría propios, que regulan la posición donde se sitúan sus partículas elementales, pero estos elementos de simetría pueden o no ser patentes exteriormente; en los cristales observamos ejes y planos de simetría correspondientes a un poliedro geométrico; en cambio, en las masas minerales éstos no se distinguen. Para mayor claridad, veamos un ejemplo.

La sal gema que se halla en las cuencas salinas de Cardona y Stassfurt está formada por iones de los elementos cloro y sodio dispuestos entre sí de modo que cada ión sodio está rodeado de seis cloriones, e, inversamente, que cada ión cloro está, a su vez, rodeado por seis sodiones.

Admitiendo que todo ión es una esfera de tamaño determinado cargada positiva o negativamente, la sal gema estará constituida por dos series de esferas de cargas positivas, sodio, y negativas, cloro, que se atraerán fuertemente y se dispondrán, las de sodio, en los vértices y en mitad de las caras de un cubo, y las de cloro, en mitad de las aristas y en el centro del mismo cubo. Este esquema, denominado *estructura cristalina de la sal gema,* repetido indefinidamente, constituye el mineral sal gema.

En el yacimiento de Cardona, la masa de sal se presenta de manera informe, plegada de manera caprichosa, y en ella no existe indicio alguno de la estructura cristalina interna que los pequeños granitos de sal tienen. Por el contrario, en el bello cristal de la lámina B/1 pueden observarse los elementos de simetría que regulan la disposición interna y, a su vez, las caras, aristas y vértices del poliedro. El infinitamente pequeño cubo de cloriones y sodiones ($5{,}628 \times 10^{-8}$ cm. de arista) posee los mismos elementos de simetría que existen en el cristal cúbico.

El número de elementos de simetría que puede haber en la materia cristalina es muy limitado, reduciéndose a *ejes binario, ternario, cuaternario* y *senario*, a *planos de simetría* y a *centro de simetría*. El conjunto de ellos que existen en un determinado cristal se denomina *simetría cristalina* del mismo.

Todo mineral bien cristalizado está formado por un conjunto de caras, aristas y vértices, como hemos visto, que se disponen según su simetría cristalina, dando un poliedro geométrico más o menos regular, que se denomina *forma cristalina.*

Las formas cristalinas pueden ordenarse, según su simetría, en siete grandes grupos, denominados singonías o sistemas, que son: *cúbico, tetragonal, hexagonal, romboédrico, rómbico, monoclínico* y *triclínico.*

Cada singonía o sistema posee una combinación propia de elementos de simetría, denominada *característica simétrica,* y que debe estar contenida en todas las formas cristalinas del sistema. Así, en el sistema cúbico la característica simétrica es la combinación de cuatro ejes ternarios; en el tetragonal es la existencia de un eje cuaternario; en el hexagonal, la de un eje senario; en el romboédrico, la de un eje ternario; en el rómbico y monoclínico, la de un eje binario; y en el triclínico, es el no existir eje de simetría alguno.

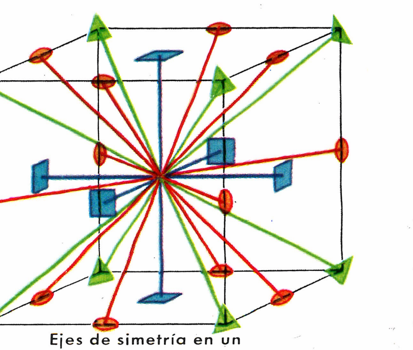
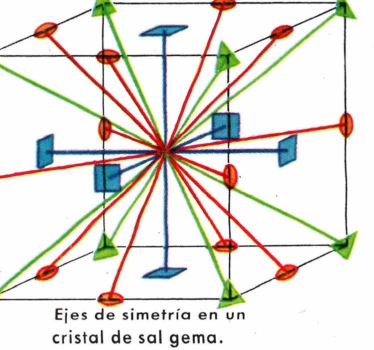
Además de esta simetría mínima, las formas cristalinas de un sistema pueden poseer planos o centro de simetría, o ambos simultáneamente, pero tanto el número como la posición de estos elementos viene condicionada por la característica simétrica.

Los cristales naturales se hallan raramente como individuos aislados, ya que en el momento de la cristalización tienden a unirse, formando asociaciones que se denominan *agregados cristalinos.* Estas asociaciones pueden efectuarse fortuitamente, *agregados irregulares,* o bien obedecer a leyes determinadas, *agregados regulares.* Ejemplos del primer caso son las geodas y las formaciones estalactíticas; las maclas de la Pirita, lám. B/5, y del Yeso, lámina B/9, y el agregado en libro de la Baritina, lám. B/7, son ejemplos típicos de agregados regulares.

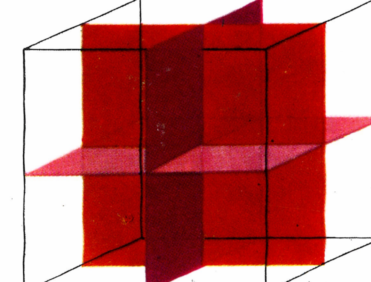



Parte de un pliegue del yacimiento salino de Cardona (España).

Cristal cúbico de sal gema. Torres Zaragoza (España).

Ejes de simetría en un cristal de sal gema.



Planos de simetría principales en un cristal de sal gema.

Si las rocas, como se verá más adelante, son las unidades estructurales de la corteza terrestre, los minerales constituyen las unidades elementales de esta corteza, es decir, son los elementos primarios de la misma.

Los minerales no están igualmente dispuestos en la corteza, sino que, mientras un número limitado de ellos, cuarzo y silicatos, son elementos esenciales de las rocas y constituyen por sí solos el 95 % de la corteza terrestre, otros se presentan localizados en pequeñas concentraciones denominadas *criaderos* o *yacimientos minerales*, a los que acompañan en bastante cantidad los llamados *minerales de ganga*. Algunos de estos minerales pueden constituir rocas sedimentarias que ocupan grandes áreas superficiales de la Tierra, como calizas, areniscas, etc., pero, a pesar de ello, y por presentarse en su forma más pura y bien cristalizada en los criaderos minerales, los estudiaremos en los minerales de ganga.

Por su gran interés comercial haremos capítulo aparte con los minerales gemníferos, los criaderos sedimentarios y los yacimientos salinos; finalmente, terminaremos este breve estudio mineralógico con los elementos más importantes que se hallan en la Naturaleza.

1. MINERALES CONSTITUYENTES DE LAS ROCAS

Cuarzo. — Es el mineral más frecuente y extendido de la corteza; elemento fundamental de las rocas eruptivas, sedimentarias y metamórficas, forma también la ganga de la mayoría de los filones, y aun él solo constituye filones de bastante importancia en los que se hallan los más bellos cristales de este mineral. Ejemplo de esto último lo tenemos en las geodas alpinas, donde se hallan grupos y drusas de magníficos cristales, los llamados *Cuarzo alpino* y *Cuarzo filoniano*.

Cristaliza en el sistema romboédrico, con conformaciones distintas según la manera de yacer; así, el *Cuarzo común* se presenta en forma de prisma y bipirámide hexagonal, como en el Jacinto de Compostela, mientras que las variedades de *Cristal de roca* y *Cuarzo ahumado* son ricas facetas de hábito claramente romboédrico, presentándose el prisma coronado por caras de romboedro, como en los cristales de cuarzo del San Gotardo.

La mayoría de cristales de Cuarzo, aun cuando parecen cristales sencillos, son maclas de complemento en las que los dos gemelos están íntimamente compenetrados, no distinguiéndose entre sí. El *Cuarzo amatista*, que se halla en Brasil y cuyos ejemplares son muy apreciados en joyería; los *Cuarzos alpinos*, de Zinkenstock (Suiza); los *Cuarzos japoneses* y los *Cuarzos helicoidales*, de los Alpes, son cristales maclados según distintas leyes, excepto los últimos, que son agregados uniplanares.

Mineral incoloro y completamente transparente, puede tomar variadísimas coloraciones y hasta volverse translúcido y aun opaco (*Cuarzo lechoso*). Tiene brillo vítreo. Opticamente es uniáxico positivo y posee la propiedad de girar el plano de vibración de la luz polarizada (polarización rotatoria).

Duro y frágil, es piezoeléctrico, fenómeno que presentan muy pocos minerales, y por el cual es de gran importancia técnica en la aplicación de los ultrasonidos. Químicamente es SiO_2 puro, algunas veces conteniendo pequeñísimas cantidades de impurezas que le comunican el color; sólo se ataca con FH y, por fusión, con KOH.

Son variedades criptocristalinas de cuarzo, de gran aplicación industrial, la *Calcedonia* y el *Agata*; el *Onice* y la *Carneola*, esta última de color rojo sangre, de aplicación en joyería; y, finalmente, el *Jaspe* y el *Pedernal* o *Sílex*.

El *Opalo* no es realmente una variedad de cuarzo, sino un gel de SiO_2, con un contenido en agua que oscila entre el 1 y el 21 %. Sus variedades *Opalo noble*, *Opalo prasio*, etc., son muy apreciadas en joyería.

Feldespatos. — Bajo la denominación de feldespatos se agrupan un conjunto de minerales estrechamente relacionados entre sí por su morfología y por sus propiedades físicas. Todos ellos se hallan como elementos fundamentales de las rocas eruptivas, ya séan intrusivas, filonianas o volcánicas. Forman dos subgrupos, los cristalizados en la singonía monoclínica y aquellos que lo efectúan en la triclínica.

La *Ortosa*, silicato alumínico potásico, es el principal feldespato monoclínico. Se presenta en forma de cristales incluidos o implantados, de proporciones muy variadas, o bien en maclas de entrecruzamiento, de las que es muy conocida la de Karlsbad.

De incoloro y transparente como el agua a blanco turbio, amarillento, de color carne y opaco. Opticamente es biáxico negativo. Entre sus principales variedades podemos citar: 1) *Feldespato común*, de color rojizo a blanco; opaco, excepto en láminas delgadas; es la variedad más frecuente, hallándose bellos cristales con la macla de Karlsbad en Zarzalejo (Madrid); 2) *Adularia*, si-

(*Concluye en la lámina H/5.*)

MINERALES CONSTITUYENTES DE LAS ROCAS



Cuarzo ahumado. Grissones (Suiza).



Feldesfato ortosa (macla de Carlsbad) Zarzalejo. Madrid (España).



Calcedonia var. Cornalina (Brasil).



Microclina var. amazonita Colorado (U. S. A.).

La *Microclina,* silicato alumínico potásico, está estrechamente relacionada con la Ortosa tanto por su morfología como por sus demás propiedades, siendo difícil distinguir un mineral del otro. Microscópicamente presenta una estructura reticular característica. Es notable una variedad de este mineral, de color verde intenso, denominada *Amazonita.*

Las *Plagioclasas* están formadas por una serie isomorfa de minerales, todos ellos silicatos alumínico-sódico-cálcicos, cuyos términos intermedios dependen de la cantidad relativa de sodio y calcio que contienen. Los extremos de la serie son la *Albita,* silicato alumínico sódico, y la *Anortita,* silicato alumínico cálcico. Minerales incoloros o blancos, con brillo vítreo, se presentan siempre en maclas polisintéticas fácilmente distinguibles al microscopio; es típico de las plagioclasas la estructura zonal de sus granos. Son elementos fundamentales de las rocas eruptivas básicas.

Micas. — Son minerales de simetría monoclínica, cristalizados en tablas seudohexagonales, que se caracterizan por la fácil exfoliación basal, que permite separar hojas muy delgadas y elásticas. Esta propiedad, unida a la nula conductividad calorífica y eléctrica, hace que se utilicen como aislantes en gran número de aparatos.

Químicamente son silicatos básicos de aluminio y potasio, con magnesio y hierro en las especies obscuras; la mayoría de ellos contienen flúor como anión. Ópticamente son biáxicas negativas, siendo fuertemente pleocroicas las que contienen hierro. Elementos esenciales de las rocas eruptivas, son constituyentes fundamentales de las metamórficas, tales como gneis, micacitas, pizarras, etc. Los principales minerales de este grupo son la Moscovita y la Biotita.

La *Moscovita,* mica potásica o blanca, es incolora o con tonalidades distintas, pero nunca obscuras, transparentes a translúcidas, de brillo nacarado y suave. Es la más utilizada en las aplicaciones industriales, y se la halla en grandes bloques en las pegmatitas.

La *Biotita,* mica férrica o negra, muy semejante a la anterior, se distingue de ella por sus colores siempre obscuros y aun negros, y por su fuerte pleocroísmo que va desde un tono pálido hasta casi resultar opaca. Es la más abundante, y elemento esencial de casi todas las rocas intrusivas.

Piroxenos. — Forman un grupo de minerales con simetría monoclínica o rómbica, que se caracterizan principalmente por la exfoliación paralela a las caras del prisma vertical, y cuyas líneas de crucero se cortan en ángulo casi recto.

Los piroxenos monoclínicos son metasilicatos cálcico-magnésicos, prácticamente puros, como la *Diópsida,* o bien con cantidades variables de Al_2O_3 y Fe_2O_3, como la *Augita.* De color verde claro a verde obscuro, son ópticamente biáxicos, y no pleocroicos; no obstante, el contenido en hierro hace variar sus propiedades ópticas, siendo las variedades ferríferas de Augita de color negro pez y francamente pleocroicas.

La Augita es mineral típico de las rocas ígneas básicas, hallándose sus variedades ferríferas en muchas rocas volcánicas; en la región volcánica de Olot se presenta en bellos cristales prismático-achatados de color negro. La Diópsida, por el contrario, es la más típica de las rocas metamórficas, principalmente de las calizas cristalinas producidas por el metamorfismo regional y de las corneanas debidas al metamorfismo de contacto.

Anfíboles. — Minerales semejantes a los piroxenos, cristalizados en las singonías monoclínica y rómbica, se diferencian de ellos por su intenso pleocroísmo y por el ángulo de las líneas de exfoliación de 124°. De composición química similar, contienen en su molécula grupos hidroxilos, y, por su fórmula química, no corresponden a metasilicatos, sino a silicatos complejos. Los anfíboles monoclínicos más importantes son la *Actinota* y la *Hornblenda.*

La *Actinota* es mineral característico de las pizarras cristalinas; se distinguen dos variedades, según la cantidad de hierro que contiene: la *Tremolita,* de color blancogrisáceo a verde muy claro, y la *Actinolita,* de color verde obscuro y fuertemente ferrífera. En su forma fibrosa este mineral constituye el *Amianto,* de gran interés industrial por su incombustibilidad y flexibilidad, y el *Cuero de montaña,* de propiedades semejantes, pero poco flexible y compacto.

La *Hornblenda,* mineral esencial en muchas rocas eruptivas básicas y pizarras cristalinas, como las anfibolitas, se presenta en cristales de contorno hexagonal, con brillo vítreo y color negro a negro verdoso.

Olivino. — Mineral esencial de las rocas eruptivas básicas, que llega a formar por sí solo la denominada *Peridotita;* se le halla asimismo en numerosas pizarras cristalinas metamórficas.

Se presenta en cristales sueltos o incluidos, de simetría rómbica, color verde botella a verde obscuro, a veces ama-

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

MINERALOGIA

MINERALES CONSTITUYENTES DE LAS ROCAS



Cuarzo var. cristal de roca St. Gothard (Suiza).

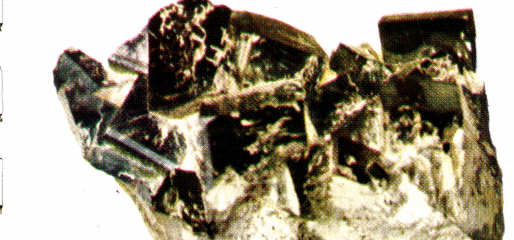
Cuarzo amatista Salinas (Brasil).

Microlina (macla de Baveno) Bustarviejo. Madrid (España).

Adularia (macla de Manebach) Grisones (Suiza).

Hornblenda. Tenerife Canarias (España).

Actinota. Valais (Suiza).



Augita (Noruega).



Diópsida (Finlandia).

rillento, pardo o incoloro. El color depende de la composición química, siendo el Olivino una mezcla isomorfa de *Forsterita*, SiO_4Mg_2, *Fayalita*, SiO_4Fe_2, y *Tefroíta*, SiO_4Mn_2. El mineral más comúnmente conocido por Olivino es la mezcla equimolecular de los dos primeros, correspondiendo a la fórmula SiO_4 (Mg, Fe)$_2$. En España es especialmente abundante en la provincia de Gerona.

Turmalina. — Grupo de borosilicatos de composición química compleja, formando una serie isomorfa de la que existen todos los términos de tránsito. Cristalizado en el sistema romboédrico, se presenta en bellísimos cristales prismáticos alargados, francamente hemimórficos, y con las más variadas coloraciones, aunque generalmente son negros o verde obscuro. Opticamente es uniáxico negativo, presentando pleocroísmo muy fuerte, hasta el extremo de absorber totalmente el rayo ordinario, por lo que se utiliza para obtener luz polarizada.

Mineral típicamente de contacto, se presenta ligado a rocas profundas y filonianas, especialmente con el granito y en las pegmatitas, en las que forma paragenesis con el Cuarzo. Asimismo se le halla en gran variedad de rocas metamórficas. Algunas variedades de Turmalina se utilizan en joyería por su bellísimo color. Los mejores cristales se encuentran en Minas Geraes (Brasil), en los filones bolivianos y en California. En España es relativamente abundante.

Berilo. — Silicato de aluminio y berilio, se presenta en cristales hexagonales prismáticos de color variable, aunque preferentemente blanco-verdosos a verde intenso, que pueden ser enormes. Es perfectamnte transparente, turbio u opaco, con brillo vítreo. Tiene exfoliación basal perfecta, y es frágil. Mineral de origen hidrotermal en las esmeraldas colombianas, se le halla en las pegmatitas, y también asociado a rocas metamórficas.

El *Berilo noble*, perfectamente transparente y de bellas coloraciones, es una de las piedras preciosas más estimadas. Entre sus variedades debemos citar la *Esmeralda*, de color verde intenso, cuyos más bellos ejemplares se halla en la mina Muzo (Colombia), y la *Aguamarina*, de color amarillo, verdemar o azul, que se presenta en Minas Geraes (Brasil) en ejemplares de hasta 110 kilogramos de peso.

Granates. — Silicatos de composición química muy variable, cristalizan en rombododecaedros y trapezoedros del sistema cúbico. Se presentan en cristales aislados, implantados o incluidos, a veces de gran tamaño; sueltos, en cantos rodados y en arenas. De todos los colores, excepto el azul, pero con mayor frecuencia rojo pardusco; transparente a opaco con brillo vítreo.

Mineral petrográfico de gran importancia y muy frecuente, yace en rocas distintas, según sus variedades. Citaremos como más importantes: *Grosularia*, incoloro, rojo jacinto o amarillo de ámbar; *Andradita*, pardo y aun negro, brillo graso o resinoso intenso, es mineral típico de contacto; *Melanita*, granate titanífero, de color negro, es elemento primario de las rocas eruptivas; *Piropo*, rojo sangre, denominado también *Granate de Bohemia*, es apreciado en joyería; *Almandina*, rojo o pardo, se halla incluido en gneis y micacitas; y *Espessartita*, amarillo a pardo rojizo, se le encuentra en las pegmatitas y en las pizarras cristalinas de Minas Geraes, donde constituye una roca, la *Espessartinita*.

Otros silicatos. — Existen gran número de silicatos que forman parte de las rocas, principalmente eruptivas y metamórficas, además de los descritos en párrafos anteriores. Entre ellos citaremos el *Topacio*, la *Epidota* y el *Circón*.

El *Topacio*, fluosilicato alumínico, cristaliza en bonitos cristales rómbicos de hábito prismático achatado y dureza elevada; de color amarillo vinoso o incoloros, puede tomar distintas coloraciones. Se presenta ligado a granitos; se hallan magníficos cristales en el Brasil, donde se encuentra la variedad *Pingos d'agoa*, notable por la gran cantidad de inclusiones líquidas que contiene.

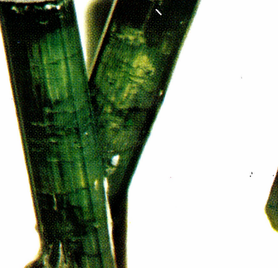
La *Epidota*, silicato alumínico cálcico complejo, se presenta en cristales monoclínicos de gran número de caras que, cuando son verdes, constituyen la *Pistacita*; es mineral muy extendido, principalmente de contacto y metamórfico.

El *Circón*, silicato de circonio, cristaliza en el sistema tetragonal, en cristales de hábito prismático que se hallan frecuentemente rodados en arenas; generalmente de color pardo y brillo vítreo, cuando transparente, constituye el *Circón noble*, dando las variedades *Jacinto*, de color rojo amarillento, y *Jargón de Ceilán*, incoloro o ligeramente amarillento, muy apreciados en joyería.

MINERALES CONSTITUYENTES DE LAS ROCAS



Olivino. Canet de Adri Gerona (España).



Turmalina. Minas Geraes (Brasil).



Turmalina, var. rubelita San Diego. California (U. S. A.).

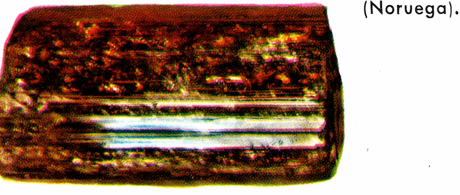


Turmalina incluída en cuarzo California (U. S. A.).



Berilo, var. aguamarina Minas Geraes (Brasil).

Granate. Bodo (Noruega).



Topacio. Minas Geraes (Brasil).



Epidota sobre cuarzo Alaska (U. S. A.).

2. MINERALES DE LOS CRIADEROS METALIFEROS

A) MENAS METALICAS

Minerales de hierro. — El hierro, base de toda la industria moderna y verdadero patrón indicador del desarrollo económico de una nación, constituye el 4,6 por 100 de la corteza terrestre, hallándosele en concentraciones de mineral beneficiable en forma de óxido, hidróxido y carbonato, diseminado en las rocas eruptivas básicas principalmente en forma de silicatos, y en menas sulfuradas.

La importancia fundamental del hierro y del acero en todos los aspectos de la vida actual hace que la obtención del mineral de hierro en condiciones económicas razonables sea de gran interés.

Las principales menas de hierro están formadas por los minerales: *Magnetita*, O_4Fe_3, con 72,4 % de Fe; *Oligisto*, O_3Fe_2, con 70 %; *Limonita*, $(HO)_8$ Fe, con 59,9 % y *Siderita*, CO_3Fe, con 48,3 %.

Las menas sulfuradas, con los minerales *Pirita*, S_2Fe, *Pirrotina*, S_9Fe_8, y *Marcasita*, S_2Fe, se utilizan como materia prima sólo en caso de dificultad en el abastecimiento de los minerales antes mencionados (como en Alemania durante la última guerra), debido a las complicaciones que las pequeñas cantidades de As que siempre contienen significan en la metalurgia del hierro. En cambio, algunas grandes concentraciones de Pirita, como las de Río Tinto (Huelva), se benefician por la cantidad de cobre que contienen y que las hace excelente materia prima para la metalurgia de este metal. Asimismo, la Pirita se utiliza como materia prima en la obtención del ácido sulfúrico.

La *Magnetita* cristaliza en el sistema cúbico, en octaedros de color negro de hierro y brillo metálico apagado, que se encuentran diseminados en las rocas eruptivas y en granos sueltos en las arenas magnéticas. En las menas se presenta en masas compactas negras. Tiene magnetismo fuerte, propiedad que se utiliza para separarla en las arenas, donde casi siempre la acompaña la *Ilmenita*, TiO_3Fe.

El *Oligisto* cristaliza en bonitas asociaciones de cristales romboédricos de color gris de acero a negro de hierro, dando agregados irregulares en forma de roseta, las rosas de Oligisto, de los que se hallan buenos ejemplares en la isla de Elba y en Minas Geraes. En las menas se presenta en agregados informes, compactos o terrosos, sin aspecto metálico y de color rojizo, denominándose *Hematites roja;* algunas veces se halla en forma de agregado hojoso, el *Oligisto micáceo*, tomando aspecto de grafito. Estos dos minerales son las menas de hierro más apreciadas; en España se encuentran con relativa abundancia.

La *Pirita* es el más universal y abundante de todos los sulfuros, presentándose bajo todas las condiciones de deposición mineralógica. Cristaliza en magníficos cubos y dodecaedros pentagonales (denominados estos últimos piritoedros por la abundancia de su aparición), frecuentemente maclados, dando la *cruz de hierro*. De color amarillo latón, a menudo es parda por alteración superficial en limonita. Mineral de dureza media (6 a 6,5), por percusión produce chispas y olor a azufre. Los agentes atmosféricos lo meteorizan rápidamente, pasándolo a sulfato ferroso, que, en parte, es disuelto por las aguas existentes en el filón y, en parte, es oxidado a sulfato férrico, el cual se precipita en forma de limonita; esta última queda en la parte superior del yacimiento, constituyendo la *montera de hierro* del depósito.

Minerales de cobre. — Metal utilizado principalmente por sus cualidades de conductor, fue conocido desde la antigüedad y usado, aleado con el estaño, en forma de bronce para la fabricación de armas y de utensilios domésticos. Las menas de cobre primarias están formadas esencialmente por *Calcopirita*, S_2FeCu, y *Cobres grises*, conglomerado de varios sulfuros y sulfoarseniuros de cobre y hierro; las secundarias, resultantes de la oxidación, y algunas veces posterior reducción de los productos resultantes, están constituidas principalmente por sulfuros secundarios, *Calcosina*, SCu_2, y *Covellina*, SCu, y carbonatos básicos, *Malaquita*, $(CO_3/[HO]_2)Cu_2$, y *Azurita*, $([CO_3]_2/[HO]_2)Cu_3$.

La *Calcopirita* cristaliza en pequeños cristales tetragonales de tipo esfenoédrico, muy semejantes a tetraedros. Se presenta, generalmente en agregados masivos y compactos, junto con otros minerales de cobre y hierro, como en los complejos cupríferos de Arizona y Chile, o bien diseminada en pequeña concentración en grandes masas de Pirita, como en Tharsis y Río Tinto. De color amarillo latón con tinte verdoso, a menudo es iridiscente. Es la mena de cobre más difundida, aunque no la más importante.

La *Malaquita* se presenta en formas prismáticas o tabulares monoclínicas, en general mal cristalizadas. Es más frecuente en masas informes y pseudo-

MINERALES DE LAS MENAS METALICAS



Pirita octaédrica Brosso (Italia).

Marcasita Oklahoma (U.S.A.).

Magnetita (Madagascar).

Oligisto. Minas Geraes (Brasil).

Limonita Barcelona (España).

Siderita Cornwall (Inglaterra).

Calcopirita. Cornualles (Inglaterra).

Malaquita concrecionada Burra-Burra (Australia).

mórficas. Color verde esmeralda a verde negruzco y brillo vítreo. Es frecuente mena de cobre, y se halla en la zona de oxidación de los yacimientos cupríferos. Los depósitos más notables de este mineral se encuentran en Katanga y Rhodesia del Norte.

Minerales de cinc. — Metal blanco, de tono azulado y punto de fusión bajo (419° C), el cinc se utiliza principalmente para formar aleaciones, tales como el latón, y para recubrir metales fácilmente oxidables, como el hierro (galvanizado).

La mena principal del cinc es el sulfuro, que se presenta al estado natural en forma de *Blenda* o *Esfalerita*, cristalizado en el sistema cúbico, y en mucha menor proporción en forma de *Wurtzita*, cristalizado en el sistema hexagonal. Asimismo es mena de cinc el carbonato, que forma el mineral *Smithsonita*.

El sulfuro de cinc se presenta normalmente en grandes cantidades asociado a la galena, sulfuro de plomo, en masas de color pardo obscuro a negro y de grano variable. Se separa de esta última por el método de flotación, que permite concentrar el mineral hasta que contiene entre 45 y 55 % de metal. La metalurgia del cinc es compleja y se requiere una materia prima bastante rica en metal, por lo que el carbonato, difícilmente separable por flotación de los restantes carbonatos que le acompañan, es cada día menos utilizado.

La Blenda se presenta en algunas localidades, en los Picos de Europa, en cristales bien conformados, de hábito hemiédrico y gran complejidad de formas, de color amarillo de miel, translúcidos e incluso transparentes, dando la variedad de *Blenda acaramelada* o *melada*.

Los criaderos de cinc están constituidos por Blenda, como mineral primario, y por una serie de minerales, en sus zonas superficiales, producidos por alteración del sulfuro, entre los que se hallan el carbonato, *Smithsonita*, y el carbonato básico, *Hidrocincita*.

Minerales de plomo. — La producción mundial de plomo procede de tres minerales: *Galena* SPb, *Cerusita*, CO_3Pb, y *Anglesita*, SO_4Pb, siendo los dos últimos productos de transformación de la galena y hallándose asociados a los yacimientos de este mineral. A pesar de la gran difusión de la galena, el mineral productor de plomo procede de pocas regiones, debiéndose citar, en primer lugar, la del valle del Mississipi, en U.S.A., que es donde existe la mayor concentración mundial de minerales de cinc-plomo; en Méjico existe, en el centro del país, una rica región que se extiende por Chihuahua y Coahuila; también América del Sur contiene importantes depósitos del mineral. En Europa existe la *provincia mediterránea*, con los ricos yacimientos españoles, explotados por los romanos hace 3.000 años, siendo los más importantes los de Sierra Morena, en el distrito Linares-Carolina (Jaén); en la región de Cartagena y Almería se extrajeron durante el siglo pasado grandes cantidades de galena argentífera que proporcionaron gran prosperidad al país; actualmente se hallan prácticamente agotados estos yacimientos.

La *Galena* se presenta en cristales cúbicos de magnífica conformación, casi siempre implantados y de considerable magnitud, integrados por el cubo y el octaedro. Tienen exfoliación perfecta y característica, según las caras del cubo. Color gris de plomo y fuerte brillo metálico, sobre todo en las superficies de exfoliación que se vuelven mates por oxidación. De composición química muy constante, casi siempre contiene una pequeña proporción de plata, que en algunos casos puede llegar a ser del 1 al 3 % (galenas argentíferas).

Los yacimientos de este mineral se caracterizan por tener en su superficie numerosos productos de meteorización, bellamente cristalizados, tales como la Cerusita, la Anglesita y la Piromorfita.

Minerales de mercurio. — Aunque el mercurio se halla en estado nativo y en forma de amalgamas de metales nobles, la única mena de mercurio que como tal se halla en la Naturaleza es su sulfuro, el *Cinabrio*. Este mineral cristaliza en el sistema romboédrico, en la misma clase que el cuarzo, aunque raramente se presenta en cristales bien conformados, y aun es difícil hallarlo cristalizado. Generalmente en masas informes o diseminado y en eflorescencias: color rojo cochinilla y brillo adamantino, puede presentarse en agregados rojo escarlata y rojo obscuro. Mineral de gran importancia económica, sus yacimientos se han formado a baja temperatura, aunque algunos de ellos son debidos a actividades volcánicas. Las minas de Almadén (Ciudad Real), en explotación desde hace más de 2.000 años, son las más ricas del mundo, conteniendo por término medio de 5 a 8 % de mercurio, y, en algunos lugares, hasta el 20 %. Yacimientos de importancia son los de Toscana y Trieste (Italia), Huancavélica (Perú), California (Estados Unidos) y otros, de menor importancia, en Méjico.

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

Serie **B** Num. 6

MINERALOGIA

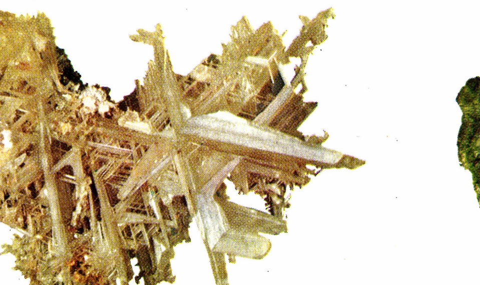
MINERALES DE LAS MENAS METALICAS



Blenda acarameladd sobre dolomita. Picos de Eurapa - Santander (España).

Cubo de exfoliación de galena con la cara del octaedro.

Galena (cristal compuesto de cubo y octaedro) sobre calcita.



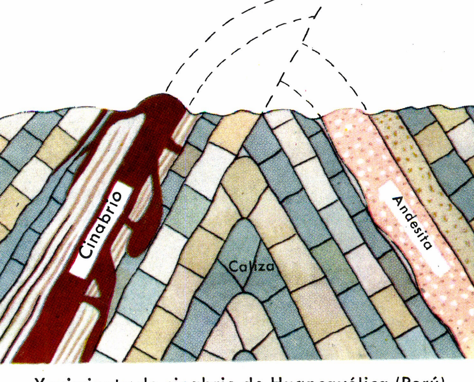
Cerusita. Tiger - Arizona (U. S. A.).



Piromorfita. El Horcajo Ciudad Real (España).



Cinabrio con cuarzo Almadén (España)



Yacimiento de cinabrio de Huancavélica (Perú).

B) MINERALES DE GANGA

Como hemos visto, los sulfuros y óxidos son las materias primas fundamentales para el beneficio de los metales que contienen, y en estado natural forman las principales menas metálicas. Pero no se presentan solos, sino acompañados por minerales de tipo salino, carbonatos, sulfatos y sales haloideas principalmente, formando estos últimos los minerales de ganga. En los depósitos metálicos, el mineral de ganga constituye con la roca de pared la parte no aprovechable, aunque esto no quiere decir que ellos de por sí no puedan constituir yacimientos minerales de interés económico, como ocurre con la Fluorita, las canteras de mármol o las explotaciones de Baritina.

Carbonatos. — Minerales de aspecto lapídeo, sin coloración propia, presentándose blancos o ligeramente teñidos, excepto si contienen Co o Cu. Los principales miembros de esta clase forman dos series isomorfas, cuyos primeros términos, *Calcita* y *Aragonito*, tienen igual composición química CO_3Ca, presentando un ejemplo típico de dimorfismo.

La *serie de la Calcita* está formada por *Calcita*, CO_3Ca, *Dolomita*, CO_3 (Ca, Mg), *Magnesita*, CO_3Mg, *Smithsonita*, CO_3Pb, *Siderita*, CO_3Fe, *Dialogita*, CO_3Mn, *Esferocobaltina* CO_3Co. Minerales miscibles en todas proporciones, se presentan bien cristalizados en el sistema romboédrico, en escalenoedros, romboedros o la combinación de ambos.

La *Calcita* se halla en magníficos cristales implantados, muy ricos en facetas, llegando a formar más de mil combinaciones. Se presentan maclados en formas muy distintas, dando desde la macla de complemento hasta maclas polisintéticas. Incoloro, comúnmente blanco, tiene brillo vítreo característico, rayándose con la navaja. La Calcita es mineral universalmente difundido, formando rocas sedimentarias que cubren grandes extensiones de la corteza terrestre. Se presenta en diversas variedades: *espato de Islandia*, cristales muy hermosos, en geodas o drusas alpinas o filonianas; *mármol*, variedad finamente cristalina de textura granuda; *caliza fibrosa*, *caliza compacta*, etc. Abunda extraordinariamente en España en todas sus variedades.

La *serie del Aragonito* la forman *Aragonito*, CO_3Ca, *Witherita*, CO_3Ba, *Estroncianita*, CO_3Sr, y *Cerusita*, CO_3Pb. Minerales cristalizados en la holoedría rómbica, generalmente maclados, dando formas pseudohexagonales, siendo un ejemplo de ello las famosas *"torrecicas de Aragón"* del aragonito. No son minerales de ganga propiamente dichos, y se estudian en este lugar por su parentesco con la calcita.

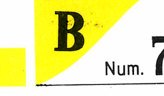
El *Aragonito* se halla en masas informes, constituyendo el material de las estructuras estalactíticas y estalagmíticas, en agregados radiados y fibrosos, y en formas esferoidales del tamaño de guisantes (pisolitos). Es mineral menos frecuente que la Calcita, y, aunque de difusión universal, no forma rocas.

Sulfatos. — La *Baritina*, SO_4Ba, es el único mineral de esta subclase que se halla acompañando a los sulfuros metálicos como ganga. En la serie isomorfa que forma con *Celestina*, SO_4Sr, y *Anglesita*, SO_4Pb, el primero de ellos se halla, aunque no frecuentemente, en filones metálicos, pero el segundo es típicamente un mineral de alteración, como se ha indicado al estudiar los minerales de plomo. Cristaliza toda la serie en la holoedría rómbica, presentándose la *Baritina* en hermosos cristales muy ricos en facetas, de hábito tabular y formando el característico agregado en libro. Es mineral de gran difusión, hallándosele en masas compactas, que algunas veces se explotan económicamente, y en depósitos concrecionados y nodulosos. También como "rosa de baritina", de formación sedimentaria. Es muy abundante en España, siendo famosos los cristales de Bellmunt y de Caldas de Malavella, en Cataluña.

Sales haloideas. — El único mineral de esta clase que se encuentra en los filones metálicos es la *Fluorita*, F_2Ca. Se presenta en cristales perfectos, pertenecientes al sistema cúbico, casi siempre en combinación de cubo y octaedro o rombododecaedro. Con frecuencia da maclas de interpenetración integradas por dos cubos; también se presenta informe en agregados granudos. Se exfolia perfectamente, según las caras del cubo; pocas veces incoloro, se presenta, por lo común, teñido de violeta, verde o con tinte ligeramente rosado, aunque puede tomar las coloraciones más diversas, y aun ser negro, como las fluoritas cercanas a yacimientos radiactivos. Transparente a translúcido, presenta fluorescencia, y por su poca dispersión se utiliza para fabricar objetivos de microscopios. Mineral de extensión mundial, se le halla por lo común en cantidad explotable en filones hidrotermales de baja temperatura, y en los filones metalíferos. Son dignos de citarse los magníficos cristales de Cumberland (Inglaterra) y los de las grietas alpinas (Goschener Alp). En España son importantes los yacimientos de Carabia (Asturias), Gistain (Aragón), Papiol y Ossor (Cataluña).

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS



MINERALOGIA

MINERALES DE GANGA



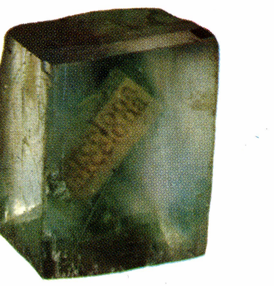
Cristal escalenoédrico de calcita. Ilinois (U.S.A.).



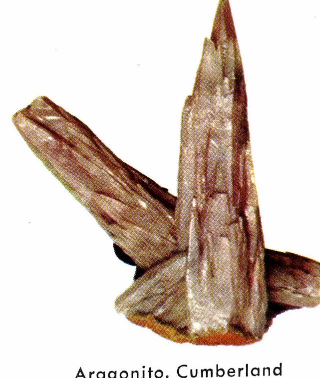
Dolomita sobre magnesita Navarra (España).



Aragonito (agregado en piña) Guadalajara (España).



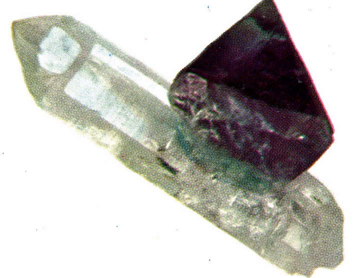
Calcita, var. espato de Islandia.



Aragonito. Cumberland (Inglaterra).



Baritina (agregado en libro) Bellmunt-Tarragona (España).



Fluorita (cristal octaédrico) sobre cristal de cuarzo. Alpes de Gösehenen (Suiza).

3. MINERALES GEMNIFEROS

Espinela. — Es el término magnésico de la serie isomorfa Espinela-Magnetita, pudiendo expresarse químicamente como Al_2O_4Mg, aunque con amplia sustitución del Mg por Fe, Mn, Zn o Cr.

Cristaliza en el sistema cúbico, en cristales pequeños y bien conformados, casi siempre en forma de octaedro, algunas veces de rombododecaedro, y, raramente, de cubo. Se presenta en casi todas las coloraciones, siendo la roja la más común; raya blanca, brillo vítreo, puede ser transparente o casi opaco. Originariamente se le halla en calizas granudas y dolomitas, también en granitos, pero como piedra preciosa, y, por tanto, de dureza elevada, se obtiene en general de arenas fluviales y placeres. Existen diversas variedades de espinela, pero la más importante, por ser apreciada en joyería como piedra preciosa, es la *Espinela noble*, transparente y roja con distintas tonalidades.

Crisoberilo. — Cristalizado en la holoedría rómbica, se presenta en cristales incluidos de hábito tabular, formando maclas de compenetración de tres individuos, dando un conjunto semejante a una bipirámide hexagonal, muy frecuente en la variedad denominada *Alexandrita*. Químicamente es Al_2O_4Be. De color amarillo verdoso a verde esmeralda, algunas veces con reflejos ondulados que recuerdan los ojos de gato, y transparente a translúcido. Las variedades puras constituyen gemas muy apreciadas, siendo digna de mención la *Ojo de gato*, que se halla principalmente en Minas Gerais (Brasil) y en Ceilán, en los aluviones de piedras preciosas.

Corindón. — Cristalizado en la holoedría romboédrica, en forma de cristales de hábito prismático, algunas veces de tamaño considerable, coronados por *bipirámides o romboedros*. Químicamente es Al_2O_3 casi puro, incoloro de por sí, aparece teñido con los colores más *diversos*; con frecuencia, coloraciones zonales debidas a inclusiones de otros minerales, como los zafiros, que presentan hermoso asterismo. Transparente a turbio, brillo vítreo y de gran dureza (es el mineral número 9 de la escala de Mohs). Las variedades perfectamente transparentes y de coloración muy pura, denominadas *Corindón noble*, son piedras preciosas; las más apreciadas son el *zafiro oriental*, de coloración azul profundo, y el *rubí oriental*, hermosa gema de color rojo de "sangre de pichón". Los rubíes más bellos proceden de Mogok (Birmania), yacimientos explotados por los reyes birmanos durante siglos, hasta que en 1889 fueron abiertos al tráfico comercial y explotados en gran escala; también se hallan buenas gemas en Ceilán, en los cavaderos de piedras preciosas, mezclados con zafiros. Se encuentra corindón noble en Siam, Madagascar y en el Brasil. Los cristales turbios y de coloración impura se conocen como *Corindón común*, y se utilizan, por su dureza, para cortar y pulir superficies.

Turquesa. — Fosfato básico complejo de cobre y aluminio, se presenta casi siempre en forma de gel arracimo-arriñonado, o en diminutos cristales triclínicos. Generalmente opaco, a veces turbio y transparente reducido a polvo. De color azul celeste o verde manzana, tiene brillo débil céreo y raya blanca. Desde muy antiguo es apreciado como piedra preciosa y de adorno, habiendo sido extraído en Nuevo Méjico por los aztecas, así como en la península del Sinaí por todos los pueblos que allí convergieron; especialmente bello es el de Nishapur (Persia), denominado *Turquesa Oriental*.

4. MINERALES DE CRIADEROS SEDIMENTARIOS

Apatito. — Cristalizado en el sistema hexagonal, se presenta en cristales de tamaño que varía desde los de peso enorme de Nueva York y Canadá hasta otros que son finas agujas. Los cristales incluidos tienen hábito prismático, mientras los implantados en las fisuras de los granitos (Alpes) son gruesamente tabulares. Desde completamente incoloro y transparente a turbio opaco, pasa por las más diversas coloraciones, debiendo destacar la verde-amarillenta que da la variedad *Esparraguina* y la verde-azulada que da la *Moroxita*, ambas utilizadas en joyería. Mineral muy difundido entre yacimientos de origen variado, es importante, tanto geológica como técnicamente, por ser el principal portador de ácido fosfórico del reino mineral. Se presenta en dos variedades: como *Apatito*, bien cristalizado, y como *Fosforita*, en forma amorfo-coloidal, criptocristalina, pulverulenta, formada en virtud de procesos sedimentarios en su más amplio sentido.

Bauxita. — Material resultante de la meteorización de feldespatos y feldespatoides bajo condiciones ambientales excepcionales, está constituido por una mezcla de óxidos de aluminio hidratados, que han sido considerados como especie mineral hasta hace relativamente pocos años. Es la única materia pri-

(Concluye en la lámina H/5.)



MINERALES GEMNIFEROS Y DE CRIADEROS SEDIMENTARIOS



Espinela sobre calcita. Franklin Furnace - Nueva Jersey (U.S.A.)

Crisoberilo (macla múltiple) Minas Geraes (Brasil).

Corindon. Madagascar.

Turquesa. Nevada (U. S. A.).

Cristal de apatito Quebec. (Canadá).

Bolsada de bauxita de istria (Yugoslavia).

5. MINERALES DE LOS YACIMIENTOS SALINOS

Los minerales salinos se han formado por la evaporación, en climas cálidos y áridos, de grandes masas de agua marina que quedaron aprisionadas en los continentes por fenómenos orogénicos o transgresivos. El mecanismo fue exactamente igual al que se utiliza actualmente en las salinas, grandes lagos artificiales de agua salada, de los que procede la mayor parte de la sal que se utiliza como condimento. La deposición de los compuestos disueltos en las aguas madres se realiza de acuerdo con su solubilidad. Hay tres grandes tipos de yacimientos salinos: los potásicos, los de boratos y los de nitratos.

a) **Yacimientos potásicos.** — En estos yacimientos, al iniciarse la evaporación, se depositó, en una primera fase, el sulfato cálcico, en forma de *Yeso*, $SO_4Ca.2H_2O$, y de *Anhidrita*, SO_4Ca; seguidamente lo efectuó la *Sal Gema*, ClNa, en casi toda su totalidad y, en la última fase, cuando la evaporación casi es total, se depositan las sales potásicas y magnésicas, *Silvina*, ClK, y *Carnalita*, $Cl_2Mg.ClK.6H_2O$, mezcladas siempre con sal gema. Los yacimientos de sal común están formados por capas lenticulares, de espesores que varían entre unos centímetros y varios metros, pudiendo llegar a ser superiores a los 40 metros. En los grandes depósitos salinos existen los llamados "domos de sal", en forma de cúpula, que son capas profundas, aplastadas y empujadas hacia arriba y que, debido a la plasticidad del mineral, se han fundido en una masa homogénea. Ejemplo de este fenómeno es la montaña de sal de Cardona (España). Los yacimientos salinos mayores del mundo en los que se benefician sales potásicas son la cuenca de Stassfurt (Alemania) y la navarro-catalana (España) con los yacimientos catalanes en explotación de Suria, Cardona, Balsareny y Sallent. La inmensa mayoría del mineral es sal gema; existen zonas con grandes concentraciones de carnalita en la primera y de silvina en la segunda.

b) **Yacimientos de boratos.**—La gran mayoría de boratos se producen en la Naturaleza por deposición en lagos salinos, hallándose minerales de esta subclase aun en las cuencas potásicas que acabamos de describir. Los depósitos económicamente beneficiables son los que se han producido por deposición en las orillas o en el fondo de los lagos de boratos, como los de Searles y Owens y Borax Lake (California). Las costras de boratos, resultado de la total desecación del lago, tienen su más claro ejemplo en el Valle de la Muerte (California), cuyos yacimientos, explotados durante muchos años, están ahora abandonados. También existen costras de boratos en Chile, Bolivia y Argentina. Los principales minerales que se encuentran en estos yacimientos son *Borax*, $B_4O_7Na_2.10H_2O$, *Colemanita*, $B_6O_{11}Ca_2.5H_2O$, *Kermita*, $B_4O_7Na_2.4H_2O$, y *Boracita*, $B_{14}O_{26}Cl_2Mg_6$.

c) **Yacimientos de nitratos.** — Estos depósitos se originan por evaporación de lagos salinos de nitratos. El único yacimiento beneficiable de *Nitro*, NO_3K, se encuentra en la parte septentrional de Chile, en los desiertos de Atacama, Tarapacá y Antofagasta, formando una franja que corre paralela a la cordillera de los Andes a lo largo de 600 km., penetrando hacia el interior entre 20 y 150 km. Al material que contiene hasta 25-30 % de nitro puro se le denomina *caliche*, y a los depósitos que afloran en la superficie, *calicheras*. Parece ser que estos yacimientos están relacionados con las rocas volcánicas que afloran a niveles superiores.

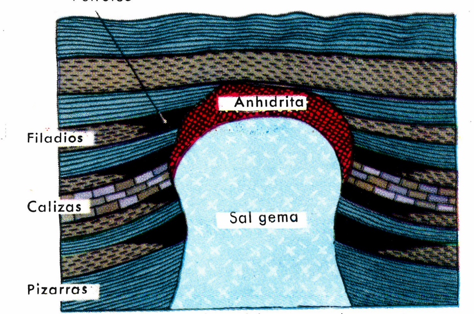
Sal gema, ClNa. — Mineral ya mencionado en la lámina B/1, cristaliza en el sistema cúbico, en cubos, y, raramente, en octaedros. Se presenta en agregados granudos y fibrosos y en eflorescencias formando estalactitas. Es incoloro, aun cuando puede aparecer coloreado de rojo o amarillo por contener óxido de hierro, o irregularmente teñido de azul, según algunos autores por contener sodio interpuesto en la red. Se exfolia fácilmente, según las caras del cubo. Muy soluble en agua, no varía su solubilidad prácticamente al aumentar la temperatura. Es el mineral más universalmente conocido y empleado. Debido a que es necesidad básica del hombre, desde los inicios de la Humanidad su posesión ha sido motivo de intercambios comerciales y de guerras. Durante la Edad Media el impuesto sobre la sal fue causa de opresión y de revoluciones en la mayoría de los países europeos.

Yeso, $SO_4Ca.2H_2O$. — Mineral monoclínico, se presenta en cristales de hábito muy diverso, generalmente prismáticos, tabulares o lenticulares, a menudo maclados en forma de punta de flecha o de lanza. Incoloro o blanco, con brillo nacarado en algunas caras y vítreo en las restantes. Es mineral blando: puede rayarse con la uña. Una variedad de yeso utilizada como piedra ornamental y para construir imágenes es el *alabastro*. En España se presenta en casi todos los terrenos, y abunda en las margas rojizas del Triásico.

MINERALES DE YACIMIENTOS SALINOS

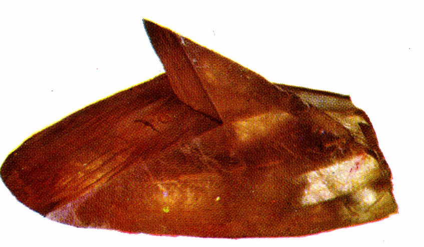


Corte esquemático de la cuenca potásica de Suria-Cardona (España).

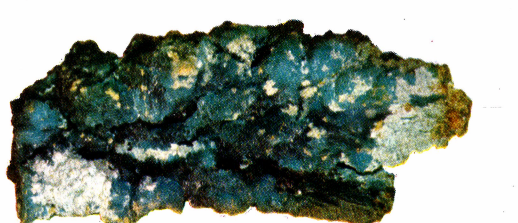


Domo de sal (esquema) con casquete de anhidrita.


Cristal tabular de yeso Mahoning-Ohío (U.S.A.)


Yeso (macla en flecha) Girgentis Sicilia (España).


Yeso (macla en flecha) Palencia (España).


Melanterita, var. pisanita Riotinto-Huelva (España).


Epsonita. Calatayud Zaragoza (España).

6. ELEMENTOS

Metales nobles.—Cristalizan en el sistema cúbico, en forma de octaedros, cubos y rombododecaedros. Son blandos, y por ello sus cristales pierden rápidamente las aristas, pasando a formas redondeadas; son tenaces y pesados, con brillo intenso. En estado natural no se hallan puros, sino conteniendo pequeñas cantidades de los restantes, en forma de disoluciones sólidas.

El *Oro*, Au, de color amarillo típico, se presenta en yacimientos de dos tipos: el *oro de minas*, contenido en filones, unido a rocas de tipo granítico, acompañando al cuarzo, y el *oro de placer*, concentración de partículas auríferas, transportadas por las aguas y acumuladas en lugares donde la corriente disminuye su fuerza. Entre los primeros citaremos el riquísimo de Witwatersrand (Transvaal), y entre los segundos, los de California y Alaska (América del Norte), que produjeron las "fiebres del oro" en 1849 y 1896.

La *Plata*, Ag, de color blanco típico, se presenta con alteración superficial de óxido, dando una pátina de color gris-negro. La plata nativa tiene poca importancia como mena del metal, presentándose en yacimientos del mismo tipo que los auríferos; son famosos los yacimientos de Potosí (Bolivia).

Azufre, S. — Cristaliza en hermosos cristales de la holoedría rómbica, en forma bipiramidal o esfenoidal, de color amarillo limón, transparentes o translúcidos y con brillo adamantino. Malos conductores del calor y de la electricidad, se electrizan negativamente por fricción. Los yacimientos de azufre se presentan: a) alrededor de los volcanes (Japón, Méjico, Chile); b) en casquetes, sobre domos de sal, y c) en forma de capas sedimentarias (Rusia, Sicilia, España). El azufre nativo, relativamente inerte, arde a 247° C, transformándose en SO_2, que se utiliza para la obtención del ácido sulfúrico, ya sea por el método de contacto, ya por el de las cámaras de plomo.

Diamante, C. — Es la piedra preciosa más apreciada y la sustancia natural más dura que se conoce. Está formado por carbono puro, es inatacable por los medios ordinarios, y su elevado índice de refracción y dispersión le proporciona un brillo y reflejo de imposible superación. Parece que el descubrimiento del primer diamante aconteció en la India, aproximadamente 800 años a.J.C., y, aunque conocido y apreciado por griegos y romanos, no alcanzó todo su valor hasta que, en la Edad Media, se halló el modo de tallarlo. A partir de entonces su valor ha ido en aumento: una sola persona podría transportar ocultos diamantes por valor igual al de 12 toneladas de oro.

Cristaliza en el sistema cúbico, presentándose en cristales octaédricos, algunas veces dodecaédricos, raramente cúbicos, de gran perfección, desarrollados en todo su contorno y aislados, o en cristales deformados, irregulares, con fenómenos de corrosión y redondeamiento de sus caras. Tiene exfoliación perfecta, según las caras del octaedro, propiedad que se aprovecha para su talla; es muy frágil. Tiene brillo adamantino característico, pudiendo ser transparente y claro como el agua, o bien turbio y opaco. Incoloro, se presenta en tonalidades difíciles de observar, y, raras veces, de color rojo intenso y azul. Al tallarlo se aprovechan sus propiedades ópticas para producir en su interior el fenómeno de la refracción total, obteniéndose la piedra preciosa conocida por *brillante*.

En el diamante podemos distinguir las variedades: *diamante*, cristales aislados y muy puros, piedra preciosa; *esferas de bort o balás*, masas densas, irregulares, fibrosorradiadas; *carbonado*, cantos rodados del tamaño de un guisante y aspecto de coque.

Se hallan en yacimientos primarios, en el Africa del Sur, en chimeneas verticales llenas de una roca ultrabásica, rica en olivino, denominada *kimberlita*, en la que los diamantes están diseminados; en yacimientos secundarios, en forma de placeres diamantíferos, de gran difusión, acompañados de cuarzo y de otras piedras preciosas.

Grafito, C. — Mineral constituido por carbono puro, es su variedad polimorfa más estable. Cristalizado en el sistema hexagonal, se presenta en masas prismáticas bastante hojosas, siendo raro hallar cristales en forma de tablas hexagonales. Tiene color gris de acero, con brillo metálico y raya gris puro. Fácilmente exfoliable, es flexible, pero no elástico, tizna los dedos, tiene tacto suave, y es transparente en láminas muy delgadas. Aunque los yacimientos de grafito se presentan en las rocas eruptivas y sedimentarias, son característicos de las rocas metamórficas. Los procesos de metasomatismo de contacto y metamorfismo regional han producido los criaderos más importantes, tales como los de Siberia, Madagascar y Méjico. El mineral procedente de Ceilán es muy apreciado por su pureza y estado de cristalización. Se utiliza en sus variedades hojosas para la fabricación de crisoles industriales y como lubricante; la variedad terrosa se emplea en pinturas antioxidantes.

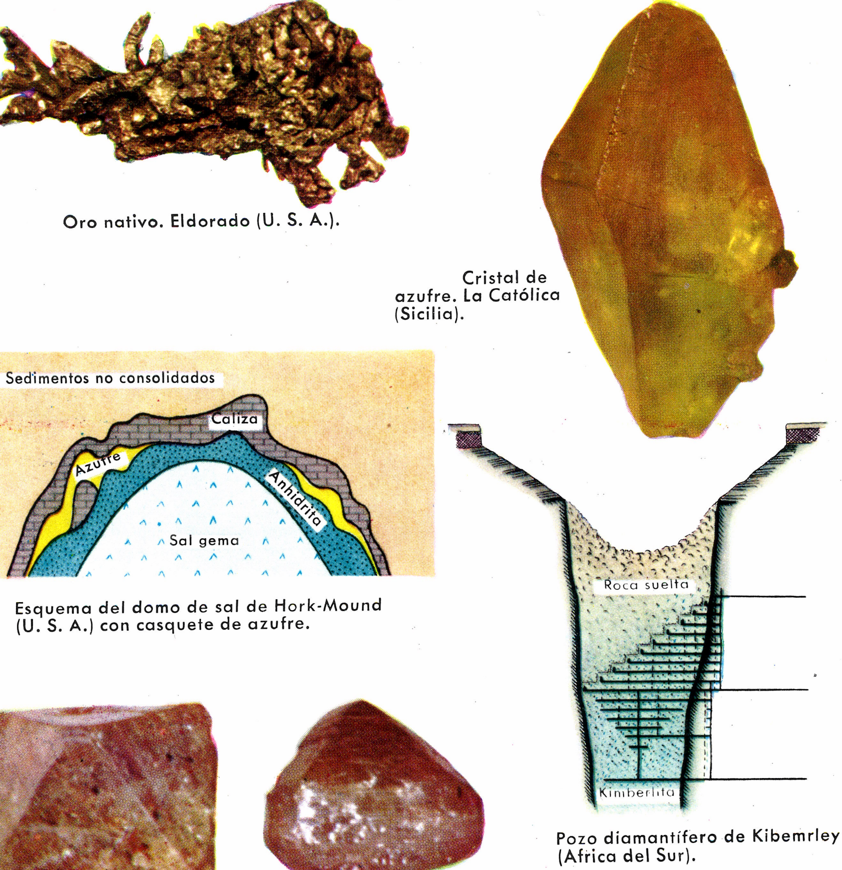
Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

Serie **B** Num. **10**

MINERALOGIA

ELEMENTOS

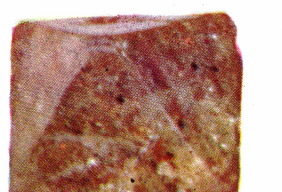
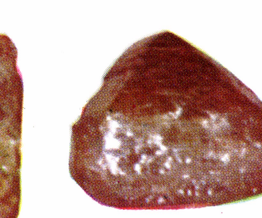


Oro nativo. Eldorado (U. S. A.).

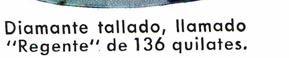
Cristal de azufre. La Católica (Sicilia).

Esquema del domo de sal de Hork-Mound (U. S. A.) con casquete de azufre.

Pozo diamantífero de Kibemrley (Africa del Sur).


Diamante, cristales naturales.

Diamante tallado, llamado "Regente" de 136 quilates.



Grafito hojoso de Mozambique.

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

PETROLOGIA

¿QUE ES UNA ROCA?

Las *rocas* constituyen las unidades estructurales con las cuales está edificado nuestro planeta. La parte de la Geología que estudia la composición, origen e historia natural de las rocas constituye la *Petrología.*

Las rocas podemos definirlas como una asociación natural de dos o más minerales. Frecuentemente se atribuye a la idea de roca cierta compacidad y coherencia, cuando geológicamente son rocas tanto los duros y resistentes basaltos cuanto las gravas, arenas o arcillas. La importancia del estudio de las rocas radica en su carácter de documentos geológicos que nos revelan la historia de la Tierra y sus procesos geológicos.

La historia de la Tierra descubre una constante pugna de dos grandes tipos de agentes geológicos: los llamados *procesos geológicos exógenos* y los *endógenos.* Los primeros son esencialmente destructores, actúan en superficie y su acción se manifiesta por los grandes ciclos de *erosión, transporte y sedimentación.* Los endógenos o internos, más espectaculares en sus manifestaciones, crean nuevas estructuras y constituyen la manifestación de la energía interna del Planeta.

Cada tipo de proceso geológico tiende a la formación de tipos de rocas características, y es precisamente a través del estudio de la estructura de las rocas, de su composición y de sus condiciones geológicas de yacimiento como el geólogo reconstruye el proceso que los originó y su posterior evolución. Así como los historiadores reconstruyen la historia de la Humanidad descifrando antiguas inscripciones, viejos pergaminos, monedas, etc., el petrólogo descifra el pasado geológico utilizando las rocas como documento de la Historia de la Tierra.

CLASIFICACION DE LAS ROCAS

Las rocas las podemos dividir en cuatro grandes grupos, basándonos en su modo de formación: *sedimentarias, metamórficas, plutónicas* y *volcánicas.* Las *sedimentarias* se originan en superficie por la acción de los procesos geológicos exógenos. Las *metamórficas* son el resultado de la transformación de rocas preexistentes por la acción de la presión y de la temperatura en profundidad. Las *plutónicas* o *ultrametamórficas* constituyen el último estadio de la transformación metamórfica en relación con los grandes procesos orogénicos. Finalmente, las *volcánicas* o *ígneas* son el resultado de la cristalización de masas fundidas o magmas, que, originándose en el interior de la corteza, salen al exterior en el fenómeno volcánico.

Atendiendo al grado de cristalización, las rocas podemos dividirlas en: *holocristalinas, semicristalinas* y *vítreas.* Las primeras están totalmente cristalizadas; las segundas constan de una parte cristalina y otra amorfa; las vítreas son totalmente amorfas.

MINERALES PETROGRAFICOS

A los minerales constituyentes de las rocas se les llama *minerales petrográficos;* se les divide en *esenciales* cuando su presencia sirve para determinar la especie de roca, y *accesorios* cuando determinan simples variedades.

Una característica de los minerales petrográficos es su pequeño número de especies: de un centenar de silicatos y alúmino-silicatos sólo unos treinta son los más frecuentes, y, de entre éstos, los feldespatos, piroxenos, anfíboles y micas, junto con el cuarzo, predominan claramente sobre los otros.

Unos se originan por cristalización de magmas fundidos: son los minerales de las rocas ígneas o volcánicas; otros, por recristalización en condiciones especiales de presión y temperatura: son los de las rocas metamórficas y plutónicas; finalmente, los de las rocas sedimentarias se forman como resultado de la alteración de los anteriores, a través de procesos de oxidación, hidratación, disolución, etc. En consecuencia, cada grupo de rocas presenta unos minerales que les son característicos.

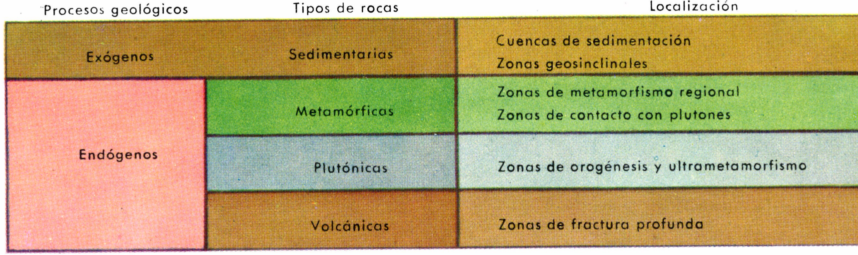
ESTRUCTURA DE LAS ROCAS

Se llama *estructura* a la forma de asociación de los minerales, exhibiendo las rocas estructuras típicamente ígneas, metamórficas, plutónicas o sedimentarias.

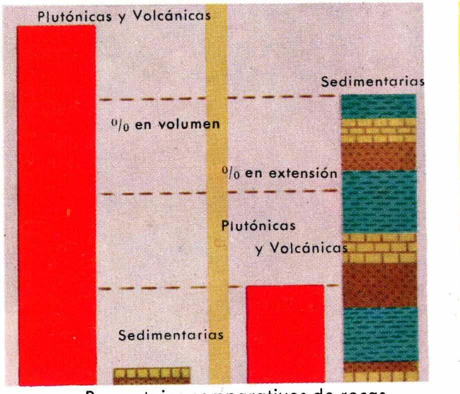
Así, a las rocas ígneas les caracteriza la *estructura microlítica;* a las rocas metamórficas, las *estructuras pizarrosas, orientadas* o *cristaloblásticas;* a las plutónicas, las *estructuras granudas,* y a las filonianas, las *estructuras porfídicas.*

APLICACIONES DE LA PETROLOGIA

La Petrología presenta un extraordinario interés en el campo de la aplicación o Geología económica, ya que toda busca de minerales o materias útiles está basada en el conocimiento de la petrología regional, o sea de los tipos de rocas y de los yacimientos minerales a ellas asociados.



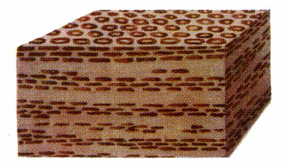
Clasificación genética de las rocas



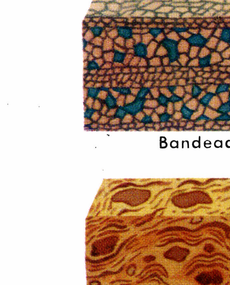
Porcentajes comparativos de rocas en la corteza terrestre

	Granitos	Basaltos	Areniscas	Pizarras	Calizas
Cuarzo	31,3	–	69,8	31,9	3,7
Feldespatos	52,3	46,2	8,4	17,6	2,2
Micas	11,5	–	1,2	18,4	–
Hornblenda	2,4	–	–	–	–
Augita	–	36,9	–	–	–
Olivino	–	7,6	–	–	–
Clorita	–	–	1,1	6,4	–
Calcita y dolomita	–	–	10,6	7,9	92,8
Minerales arcillosos	–	–	6,9	10,0	1,0
Minerales de hierro	2,0	6,5	1,7	5,4	0,1
Otros minerales	0,5	2,8	0,3	2,4	0,3

Composición mineralógica de algunas rocas corrientes



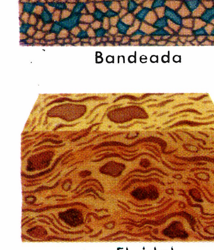
Estratificada



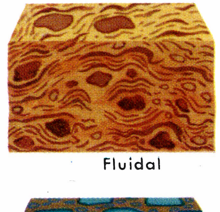
Bandeada

Porfídica microgranuda

Replegada



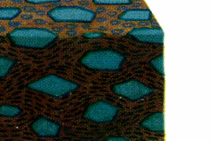
Fluidal



Aplítica

Neísica lenticular





Porfídica microlítica



Granuda

Estructuras macroscópicas de rocas

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

ROCAS SEDIMENTARIAS

Son rocas de origen exógeno originadas por la erosión de rocas preexistentes. Los productos detríticos resultantes son transportados en suspensión, y en parte disueltos por las aguas, y finalmente depositados en las cuencas de sedimentación en forma de capas o estratos. Tienen, por tanto, un origen externo y acuoso que las diferencia claramente de los otros tipos de rocas, son estratificadas y contienen fósiles.

Su composición mineralógica debe resultar de la de las rocas de que proceden y de sus productos de alteración: silicatos, cuarzo, caolín, sericita, clorita, arcilla, limonita, calcita, dolomita, etcétera. El color de la mayoría de sedimentos detríticos viene determinado por el tamaño del grano, por los estados de oxidación del hierro y por contener o no sustancias carbonosas.

Fundamentalmente están constituidas por dos clases de materiales: a) *materiales detríticos* o *clásticos;* b) *materiales precipitados químicamente.* Las dos clases de materiales se mezclan en proporciones muy variables en las rocas sedimentarias; es difícil encontrar una de éstas que no contenga unos y otros.

La estructura de las rocas sedimentarias es *clástica* o *cristalina,* según la naturaleza del depósito.

El término *clástico* o *detrítico* se aplica a aquellas estructuras en las que se advierte claramente que los cristales que las integran proceden de la disgregación y fragmentación de rocas preexistentes. Los cristales pueden tener, por consiguiente, cualquier forma, tamaño y composición.

Los sedimentos forman primero rocas sueltas que se consolidan después de su deposición, por medio de un cemento o pasta que une los cantos y granos; este cemento puede ser producto de disolución, como el cemento calizo de muchas areniscas, o detrítico, como la arcilla de las areniscas arcillosas. A este proceso físico-químico de endurecimiento se le denomina *diagénesis.*

Atendiendo a su génesis los sedimentos se dividen en: *residuales, detríticos, precipitados* y *organógenos.*

Si atendemos a su composición química podemos agruparlos en: *rocas silíceas,* compuestas esencialmente de sílice; *rocas calizas,* formadas en su mayor parte de carbonato de calcio y de carbonato de magnesio; *rocas arcillosas,* compuestas esencialmente de silicatos de aluminio hidratados y de sílice y alúmina coloidal; *rocas salinas,* compuestas de cloruros sódicos y potásicos, sulfatos sódicos, etc., producidos en la evaporación de lagunas o antiguos mares; *rocas combustibles,* en las que predominan el carbono y los carburos de hidrógeno.

PRINCIPALES ROCAS SEDIMENTARIAS

Sedimentos residuales. — Están constituidos por productos insolubles de la alteración de las rocas, que no son transportados por las aguas. Los representantes más importantes son las *lateritas* y *bauxitas,* que cubren grandes zonas en regiones tropicales y subtropicales, formando una costra rocosa, de color rojizo, compuesta por una mezcla de óxidos de hierro hidratado, hidróxidos de aluminio y sílice coloidal. Su origen es debido a una intensa alteración de la roca primitiva en condiciones de extrema oxidación.

Sedimentos detríticos. — Se originan en la erosión, disgregación y transporte de las rocas. Pueden ser *sueltos,* como la grava y las arenas, o *cementados,* como los conglomerados, las areniscas, etc., en los que los cantos rodados o antiguas arenas están unidos por un cemento calizo, silíceo, arcilloso o ferruginoso. Así, las *molasas* son areniscas con cemento calizo, y las *cuarcitas* son areniscas cuyos granos de cuarzo están unidos por sílice. Las *arcillas* son sedimentos detríticos muy finos originados por la alteración de los silicatos alumínicos de las rocas ígneas y metamórficas. La arcilla más pura se denomina *caolín.* Las *pizarras* son rocas arcillosas endurecidas y con estructura hojosa o pizarrosa a consecuencia de la presión.

Calizas. — Son quizás las rocas sedimentarias más abundantes y más utilizadas por el hombre. Su origen puede ser detrítico, de precipitación u organógenas, aunque lo general sea su carácter mixto. Están esencialmente formadas por carbonato cálcico, o bien por carbonatos cálcico y magnésico, en cuyo caso se las llama *calizas dolomíticas.* Cuando están formadas exclusivamente por carbonato magnésico se les denomina *dolomias.* Las *margas* son una variedad de calizas ricas en arcilla. Ciertas calizas están formadas en gran parte por acumulaciones de Foraminíferos, como es el caso de las *calizas con Nummulites,* características del Terciario. La *creta* es una caliza blanca, blanca o gris, porosa, que mancha los dedos, formada de restos microscópicos de equinodermos y foraminíferos y calcita criptocristalina. Las *calizas de cristalización* forman los *alabastros calizos* y *mármoles,* tan apreciados para la escultura y la arquitectura.

ROCAS SEDIMENTARIAS

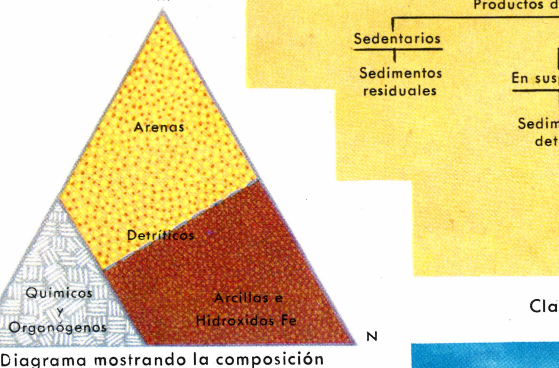
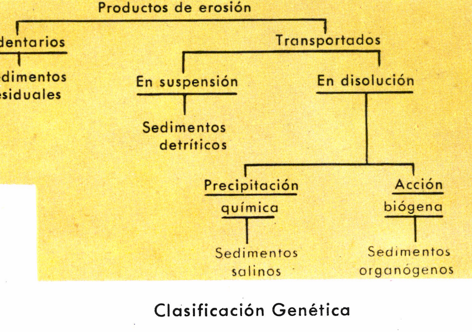
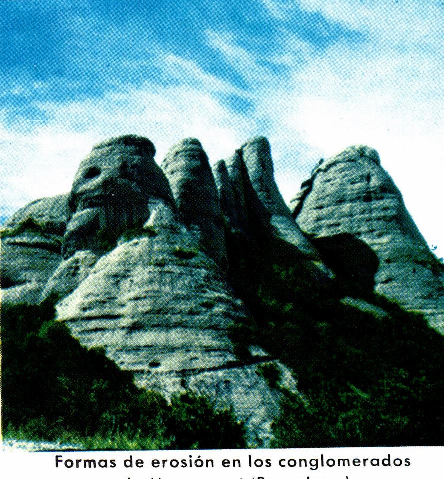


Diagrama mostrando la composición fundamental de los sedimentos

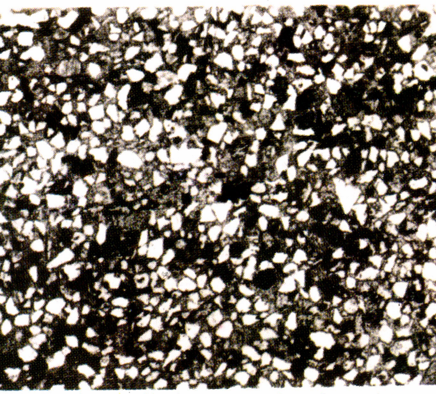


Clasificación Genética


Conglomerado poligénico de San Llorens de Munt (Barcelona)


Formas de erosión en los conglomerados de Montserrat (Barcelona)


Caliza con foraminíferos de Sallent (Gerona)


Microfotografía de una arenisca formada por granos detríticos de cuarzo y minerales arcillosos

ROCAS METAMORFICAS

En relación con los procesos orogénicos, las rocas exógenas y endógenas pueden sufrir profundas transformaciones mineralógicas, estructurales y aun químicas, dando lugar a un nuevo tipo de rocas, llamadas *metamórficas*.

En el lento hundimiento de los geosinclinales y en su posterior compresión y plegamiento, las rocas del geosinclinal se ven sometidas a unas nuevas condiciones de presión y de temperatura, a un cambio en sus condiciones de equilibrio termodinámico, que provoca su *recristalización*, es decir, la formación de nuevos minerales y estructuras, que crecen en un medio sólido, a temperaturas inferiores a las de la fusión natural de los silicatos.

Las rocas metamórficas presentan, en general, ciertas características de estratificación debida a la orientación paralela de los minerales de neoformación, que las asemeja a las rocas sedimentarias; por otro lado su carácter cristalino las acerca a las rocas ígneas, de las que se diferencian porque nunca presentan vidrio en su constitución. En la composición mineralógica de estas rocas encontramos minerales propios de rocas ígneas y sedimentarias, asociados a minerales típicamente metamórficos, como la andalucita, silimanita, cordierita, estaurolita, granate, etc.

La estructura característica de estas rocas es la *cristaloblástica*, originada por el crecimiento simultáneo de los cristales en la recristalización.

Los agentes principales del metamorfismo son: la *composición original de la roca*, la *presión* y la *temperatura*.

Según sea la *composición de la roca* afectada por la transformación variará la roca metamórfica resultante. Así, las arcillas dan lugar a micacitas y gneis; las calizas, a mármoles; las areniscas, a cuarcitas, etc.

La *presión* desempeña un papel principal, ya que modifica el límite de estabilidad de los minerales. Puede ser *estática*, producida exclusivamente por el peso de los sedimentos, y cuya influencia es mínima, u *orientada*, producida por los empujes orogénicos que, deformando las rocas, provocan la aparición de gradientes mecánicos de presión que favorecen la recristalización.

En cuanto a la *temperatura*, sabemos que favorece las reacciones químicas y que, asociada a la presión, facilita las transformaciones metamórficas. En toda zona metamórfica puede comprobarse la existencia de una serie ininterrumpida de *estados intermedios* entre los sedimentos normales y las rocas metamorfizadas más profundas; ello prueba que el metamorfismo es *progresivo* y que aumenta con la profundidad.

La división clásica del metamorfismo en tres zonas, externa, media e interna, se basa en la existencia de niveles críticos determinados por la aparición de ciertos minerales según la profundidad.

A este metamorfismo progresivo que afecta a zonas amplias de la corteza terrestre se le llama *metamorfismo regional o de geosinclinal*, para distinguirlo del *metamorfismo de contacto*, de muy poca extensión y potencia, que aparece en el límite de los plutones graníticos con los sedimentos encajantes en forma de aureola de contacto.

El metamorfismo de contacto se caracteriza por la formación de una roca negra y dura, de grano fino y totalmente recristalizada, que recibe el nombre de *cornubianita* y que es exclusiva de este tipo de metamorfismo, producido principalmente por el aumento de temperatura y la acción de elementos volátiles al producirse la intrusión o emplazamiento del plutón.

PRINCIPALES ROCAS METAMORFICAS

Neis. — Rocas más o menos pizarrosas, grises, compuestas de capitas claras, granudas, ricas en feldespato y cuarzo, alternando con capas obscuras ricas en biotita u hornblenda.

Migmatitas. — Son neis de grano grueso, con pizarrosidad difusa, compuestos de cuarzo, plagioclasa y ortosa, con caracteres intermedios entre el neis y el granito.

Micacitas. — Rocas pizarrosas generalmente obscuras, con superficie brillante y sedosa en los planos de pizarrosidad, compuestas de lechos alternantes de biotita y cuarzo.

Anfibolitas. — Rocas pizarrosas de color verde obscuro, en cuya composición predomina el anfíbol, asociado a cuarzo, feldespato, biotita, granate, etc.

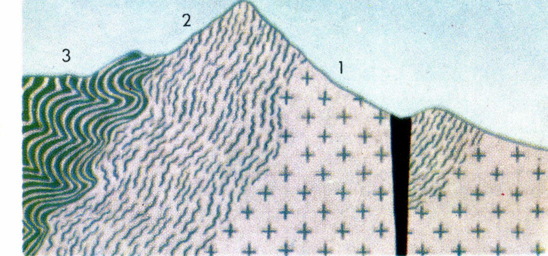
Mármoles. — Rocas granudas, de coloración variada, compuestas esencialmente de calcita, y que proceden de la recristalización de las calizas.

Cuarcitas. — Rocas granudas o pizarrosas, de colores claros, compuestas esencialmente de cuarzo. Proceden de la recristalización de las areniscas.

Cornubianitas. — Rocas obscuras, masivas, finamente granudas, duras y de aspecto córneo, compuestas de cuarzo, biotita, andalucita y cordierita.

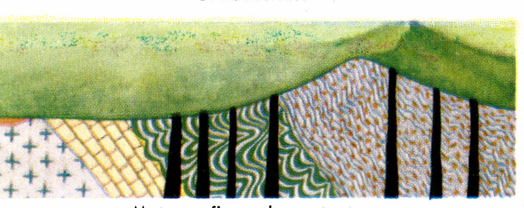
Eclogitas. — Rocas granudas, verdosas, con manchas rojizas, constituidas por piroxeno y granates. Proceden de la recristalización de antiguas rocas basálticas.

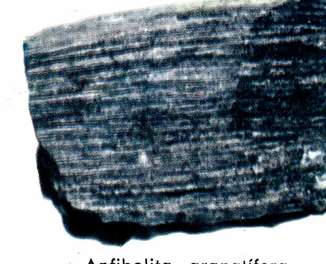
ROCAS METAMORFICAS



Metamorfismo regional. - 1.-Granito. 2.-Migmatitas. 3.-Micacitas.

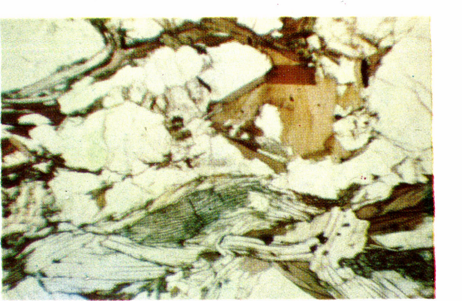
Pizarra nodulosa.-Tibidabo (Barcelona)

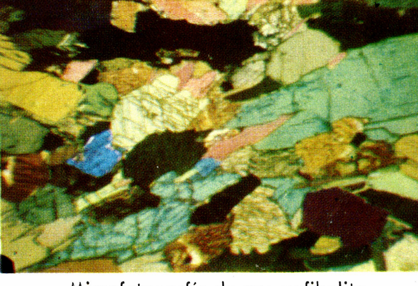

Metamorfismo de contacto


Anfibolita - granatífera Tibidabo (Barcelona)


Migmatita.-Sierra del Guadarrama.


Eclogita. - Puerto Cariño (La Coruña).


Microfotografía de un neis.


Microfotografía de una anfibolita.

ROCAS PLUTONICAS

Bajo esta denominación se agrupan todas las rocas granudas, de aspecto intrusivo, consolidadas en profundidad y en relación siempre con las grandes orogenias, en el núcleo de las cuales aparecen emplazadas. Son las rocas más debatidas de cuantas se conocen en la corteza terrestre. El hecho de que el 95 % de las rocas plutónicas o intrusivas sean graníticas hace que el problema del origen de estas rocas se centre sobre el granito.

El origen del granito constituye un problema fundamental en Geología, tanto por su gran predominio en la corteza terrestre cuanto por el papel que desempeña en la historia tectónica de las orogenias.

Desde principios del siglo XIX ha prevalecido la idea del origen ígneo del granito por diferenciación de un magma básico profundo.

Modernamente, sin embargo, se ha impuesto la "teoría transformista", según la cual el granito proviene de la transformación de rocas sedimentarias preexistentes a través de un proceso esencialmente metamórfico que se denomina *"granitización"*. Según esto, el granito representa el último estadio del metamorfismo regional, habiéndose realizado el proceso de la granitización fundamentalmente al estado sólido. Las investigaciones geofísicas comprueban que la existencia del granito está localizada en zonas bastante superficiales de la corteza, no pasando más allá de los 20 km. de profundidad. Los grandes *macizos graníticos* o *plutones* sólo afloran en superficie cuando la erosión ha barrido las formaciones sedimentarias y metamórficas suprayacentes.

Según sus condiciones de yacimiento se admiten dos clases de plutones: los *intrusivos* o *discordantes* y los *difusos* o *concordantes*. Los primeros presentan un aspecto intrusivo, con bordes netos, atravesando de forma discordante las formaciones sedimentarias o metamórficas; los segundos, que son los más frecuentes, se disponen en el núcleo de los plegamientos de forma claramente concordante y presentando pasos graduales de las rocas metamórficas al granito, a través de unas rocas intermedias denominadas *migmatitas*.

La estructura típica de las rocas plutónicas es la granuda, caracterizada por ser holocristalina, de grano grueso visible a simple vista, más o menos equigranular, con los granos en inmediato contacto unos con otros y un solo tiempo de cristalización.

De acuerdo con su composición química y mineralógica las rocas plutónicas pueden dividirse en: *ácidas*, con 75 % de sílice; *neutras*, con < 60 % de sílice, y *básicas*, con 40 % de sílice.

Las rocas ácidas son claras y ligeras, *rocas leucocratas*; las rocas básicas son obscuras y pesadas, *rocas melanocratas*.

La serie de las rocas plutónicas comprende los tipos siguientes: *Granitos, Sienitas, Dioritas, Gabros* y *Peridotitas*.

PRINCIPALES ROCAS PLUTONICAS

Granitos. — Rocas holocristalinas, ácidas, 75 % SiO_2, de colores grises o rosados, con estructura granuda, de grano grueso, formados de cuarzo, feldespato ortosa, plagioclasa ácida y biotita como minerales esenciales. Frecuentemente presentan gruesos fenocristales de ortosa, recibiendo entonces el nombre de *granito porfídico*. Son las rocas más abundantes del Globo.

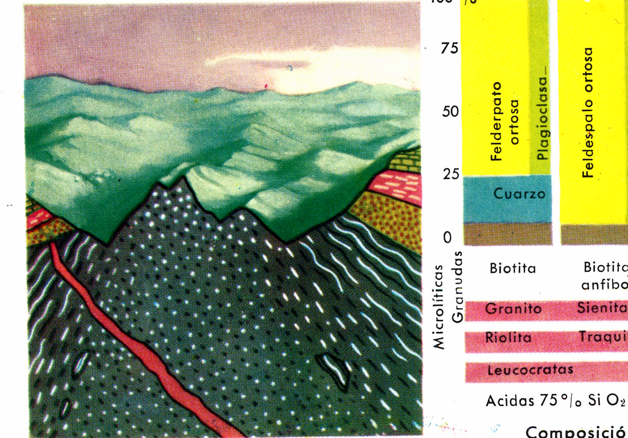
Sienitas. — Rocas de colores rosados, análogas al granito, del que se diferencian por la ausencia de cuarzo. Se componen de ortosa, plagioclasa, hornblenda y biotita. Son mucho menos abundantes que el granito, y aparecen en los macizos graníticos como facies periféricas o como secreciones dentro de él. Puede definírselas como granito sin cuarzo.

Dioritas. — Rocas de tonos más obscuros que las anteriores y mucho más básicas, <60 % SiO_2, con estructura granuda, de grano más fino generalmente, compuestas de plagioclasa, hornblenda y biotita como minerales esenciales. Es característico de las dioritas la ausencia de ortosa y el carácter zonar que presentan las plagioclasas. Aparecen como bandas periféricas en relación con los plutones graníticos.

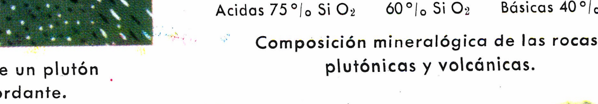
Gabros. — Rocas obscuras o verdosas, de grano grueso, más básicas que las dioritas, compuestas de plagioclasa básica y piroxeno como minerales esenciales. Son frecuentes las variedades con hornblenda y olivino. Se presentan como macizos aislados, asociados generalmente a dioritas y peridotitas.

Peridotitas. — Rocas de grano grueso, de colores obscuros y verdosos, las más básicas de la serie, 43 % SiO_2, muy densas, desprovistas de minerales leucócratas. Según el mineral ferromagnésico que predomine tendremos: *dunitas*, formadas exclusivamente de olivino; *piroxenitas*, con piroxeno, y *hornblenditas*, con hornblenda. Por alteración se transforman en una roca verdosa llamada *serpentina*. Forman grandes macizos.

ROCAS PLUTONICAS



Corte geológico de un plutón granítico concordante.



Composición mineralógica de las rocas plutónicas y volcánicas.

Granito con filoncillo de aplita. La Pedriza del Manzanares (Madrid).



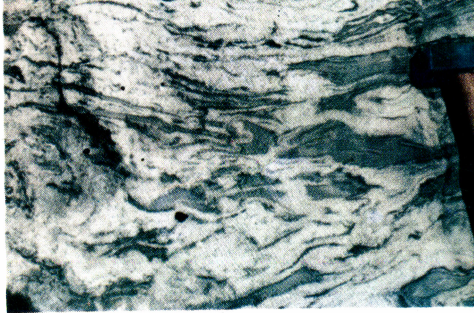
Sienita. - S'Agaró (Gerona).



Gabro. - Serranía de Ronda.



Microfotografía de un gabro.



Migmatita de la Sierra del Guadarrama (Madrid).

ROCAS FILONIANAS

Este grupo comprende todas aquellas rocas que rellenan grietas, presentando aspecto de *dique* o *filón*, sin haber llegado a derramarse en superficie. De longitud y potencia muy variables, no son geológicamente independientes, sino que están relacionadas íntimamente con las masas plutónicas o volcánicas a las que atraviesan.

Pueden presentarse aisladas, o bien asociadas, ya en *enjambres de diques*, verticales o inclinados, ya en forma de *diques interestratificados* denominados "*sills*".

La estructura típica de estas rocas es la *porfídica microgranuda*, caracterizada por la presencia de gruesos fenocristales de ortosa y cuarzo, visibles a simple vista, que destacan sobre una pasta finamente microgranuda equigranular.

La diferencia de tamaño entre los fenocristales y la pasta atestigua la existencia de dos tiempos de cristalización: los fenocristales se originarían en profundidad al principio de la cristalización, en la llamada *fase intratelúrica*, mientras que la pasta microgranuda se produciría en el brusco enfriamiento al inyectarse en las grietas, en la denominada *fase efusiva*.

Basándose en la dependencia que muestran con respecto a los macizos plutónicos o volcánicos a los que atraviesan, las rocas filonianas se han dividido en:

Asquísticas, cuando tienen composición química y mineralógica similar a la de las rocas plutónicas que las contienen, y corresponden a los *Pórfidos*, y

Diasquísticas, cuando presentan composición química y mineralógica muy distinta del macizo plutónico o volcánico; parecen representar los términos finales de una profunda diferenciación del magma, con dos polos de diferenciación, uno ácido, que correspondería a *Aplitas* y *Pegmatitas*, y otro básico, correspondiente a los *Lamprófidos*.

Las rocas filonianas constituyen, en conjunto, lo que se denomina el "*cortejo filoniano*" de los macizos graníticos.

PRINCIPALES ROCAS FILONIANAS

Pórfidos. — Son rocas filonianas de igual composición que la masa plutónica que las contiene, con estructura típicamente *porfídica microgranuda*, caracterizada por la presencia de grandes cristales idiomorfos de feldespato ortosa, incluidos en una pasta finamente microgranuda compuesta de cuarzo, ortosa, plagioclasa y biotita en el caso de los *pórfidos graníticos*.

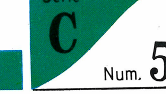
Aplitas. — Son rocas diasquísticas de grano fino que se presentan generalmente en diques, venas y filoncillos de colores blanquecinos o rosados. Se caracterizan por una estructura finamente equigranular, sacaroidea o aplítica. Están compuestas de ortosa, plagioclasa, cuarzo, algunas laminillas de biotita y muy frecuentemente granates, turmalina y circón, como minerales accesorios.

Pegmatitas. — Son rocas diasquísticas que se presentan en diques, venas o lentejones de tamaño muy variable. De composición mineralógica semejante a las anteriores, se caracteriza por una estructura muy particular, constituida por grandes cristales de ortosa en los que aparecen como incluidos otros de cuarzo con formas muy caprichosas. Observadas al microscopio, se advierte que todos los cuarzos presentan la misma orientación óptica. Esta estructura recibe el nombre de *pegmatítica*; cuando los cristales de cuarzo presentan formas cuneiformes que recuerdan escrituras antiguas tenemos la estructura *pegmatítica gráfica*. En general se acepta la idea del origen metasomático de estas estructuras a través de procesos de reemplazamiento.

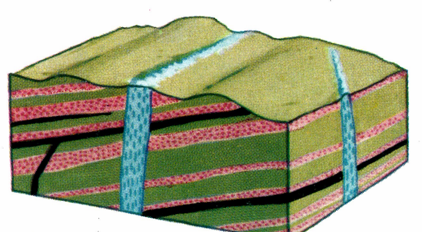
Las pegmatitas presentan un gran interés mineralógico y de aplicación. Aparte de la ortosa, que se utiliza en la fabricación de porcelanas, y de las grandes láminas de moscovita, que se emplean como aislantes, ocurren en ellas una serie de minerales, como la autunita (fosfato de uranio), la monacita (fosfato de cerio y torio), berilo, turmalina, molibdenita, wolframita, tantalita, espodumena, ambligonita, etc., todo lo cual hace que las pegmatitas se exploten activamente. Los yacimientos más importantes son los de Madagascar, Brasil, India, Ceilán, Suecia y Estados Unidos.

Lamprófidos. — Son rocas filonianas diasquísticas básicas, de colores verdoso-obscuros, de grano muy fino, holocristalinas, con estructura porfídica compuesta de fenocristales de biotita, hornblenda o augita y, en ocasiones, olivino, sobre una pasta feldespática finamente microgranuda de ortosa o plagioclasa y los minerales ferromagnésicos ya citados.

Los lamprófidos se dividen en dos grandes grupos: *ortoclásicos*, o ricos en ortosa, entre los cuales el tipo principal es el *minet*, y *plagioclásicos*, o ricos en plagioclasa básica, entre los cuales el tipo más importante es la *Kersantita*.



ROCAS FILONIANAS



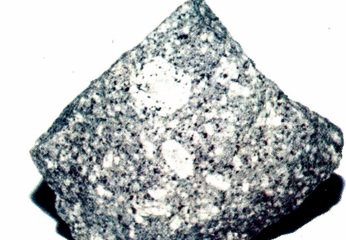
Bloque-diagrama mostrando diques verticales de porfidos y diques interestratificados básicos.

Diques de aplita en el granito de Palamós (Gerona).



Pegmatita de las Guillerías (Barcelona).

Pegmatita gráfica de Noruega.



Pórfido granítico del Guadarrama (Madrid).



Dique vertical de lamprófido cortando a uno inclinado. - Aigua Blava (Gerona).



Microfotografía de una aplita de Palamós (Gerona).



Microfotografía de una pegmatita gráfica del Tibidabo (Barcelona).

MAGMATISMO

Los *magmas* constituyen la materia prima de las rocas ígneas, cuya actividad se manifiesta al exterior en el fenómeno volcánico. La idea del origen magmático de las rocas ígneas nació precisamente de la observación de los materiales fundidos, que hacen efusión en las erupciones volcánicas, y que reciben el nombre de *lavas*.

Los magmas no tienen relación alguna con las zonas centrales del Globo, como se creía en un principio, sino que se originan por fusión parcial o completa de rocas de la corteza terrestre, constituyendo accidentes locales, focos periféricos, en relación con la tectónica de fractura.

La definición más sencilla del magma es, pues, la de roca fundida, constituida por una fusión compleja de silicatos, sílice y elementos volátiles en los que el vapor de agua es el más característico. Su contenido en sílice permite dividir a los magmas en ácidos: 65-75 % de SiO_2, ricos en alúmina y álcalis; y básicos, con 40-55 % de SiO_2, ricos en Fe, Mg y Ca.

Cuando los magmas, en su ascenso a través de las fracturas de la corteza terrestre, se enfrían, empieza su cristalización.

Teniendo en cuenta que en los magmas hay que considerar la materia mineral o fase sólida, el líquido magmático o fase líquida y los elementos volátiles o fase gaseosa, Niggli estableció tres etapas o fases en la cristalización de un magma.

La etapa *ortomagmática*, en el curso de la cual cristalizan los minerales de punto de fusión más elevado, da lugar a la masa principal de la roca ígnea. Separados los minerales de la fase anterior, queda un líquido magmático, pobre en elementos fenomagnésicos y enriquecido en volátiles, a relativamente alta temperatura y con una tensión de vapor considerable que favorece su inyección en grietas y fracturas; constituye la *etapa pegmatítico-pneumatolítica*, en la que cristalizan minerales de bajo punto de fusión, ricos en hidroxilos. Finalmente, cuando el enfriamiento está ya muy avanzado y ha cristalizado la mayor parte de elementos, queda un líquido residual, que constituye la *etapa hidrotermal*, y que no es sino una solución acuosa, manteniendo en disolución principalmente sílice.

Estudiando las rocas al microscopio, y fundándose en la forma de los minerales, pudo establecerse el orden de cristalización de los mismos. En efecto, los minerales primeramente cristalizados, con tiempo y espacio suficientes, presentan formas geométricas perfectas; por el contrario, los últimos en cristalizar tendrán que adaptarse a los huecos dejados por los primeros minerales cristalizados y carecerán de forma propia. Luego los minerales idiomorfos serán los más antiguos. Así estableció Rosembusch su orden de cristalización: 1.° *Minerales accesorios;* Apatito, Circón, Esfena, etc. 2.° *Minerales ferromagnésicos*: Olivino, Piroxenos, Anfíboles y Biotita. 3.° *Plagioclasas* básicas y ácidas. 4.° *Feldespato potásico*. 5.° *Cuarzo*.

En el transcurso del enfriamiento de un magma la cristalización de los silicatos no se realiza toda al mismo tiempo, sino que su aparición se hace escalonadamente, según el orden de cristalización, en un intervalo de temperatura comprendido entre los 1500° y los 500°. A este fenómeno se le denomina *cristalización fraccionada*.

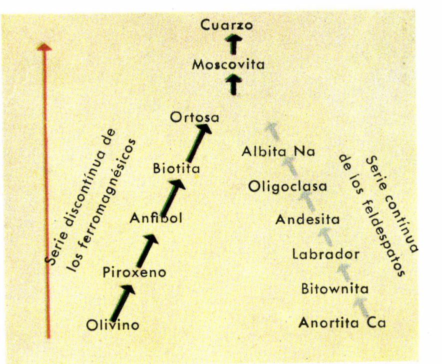
Según esto el magma en la cristalización va cambiando su composición, haciéndose cada vez más ácido, pudiendo dar lugar a rocas de distinta composición, como se comprueba en las distintas emisiones de lava de un mismo volcán. A este proceso, por el cual de un magma homogéneo se separan magmas parciales de distinta composición química y mineralógica, dando lugar a rocas distintas, se le denomina *diferenciación magmática*.

En efecto, en la Naturaleza se observa un paso gradual de unas rocas a otras, y a veces, a pesar de su distinta composición química y mineralógica, se advierten ciertos caracteres comunes o de *consanguinidad petrográfica* que demuestran un origen común. Así, puede establecerse la serie general de diferenciación de las rocas volcánicas, partiendo de un magma basáltico, a través de un magma andesítico, hasta dar el magma riolítico.

El hecho de que los basaltos constituyan el 98 % de las rocas efusivas inclina a aceptar que el magma madre de todas las rocas ígneas sea el magma basáltico. La fuente principal del magma basáltico estaría situada en la capa del sima que envuelve a la Tierra, por debajo de la capa granítica o sial. Al producirse la tectónica profunda de fractura, si ésta alcanza al sima, el movimiento de fricción entre los bloques, a esa profundidad, sería suficiente para provocar una fusión local con la consiguiente producción de un magma basáltico que, por diferenciación y asimilación magmática, puede dar lugar a una *serie de diferenciación* de rocas ígneas.

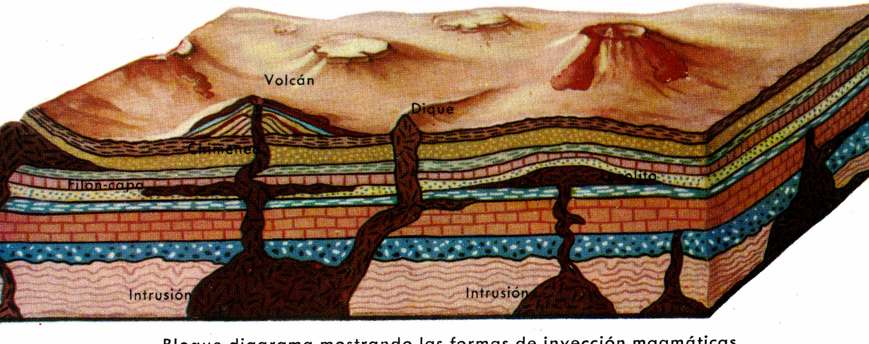


MAGMATISMO

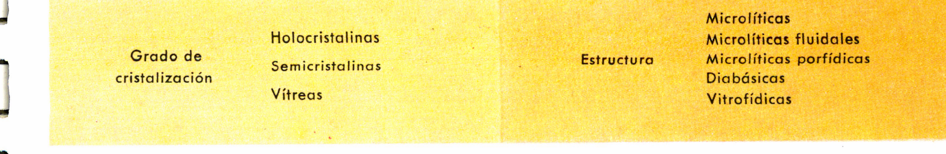


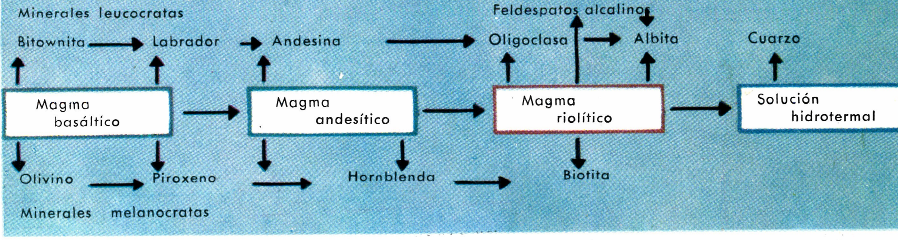
Orden de cristalización.

Diagrama de fases de la consolidación de un magma.



Bloque-diagrama mostrando las formas de inyección magmáticas.





Serie de diferenciación magmática.

ROCAS VOLCANICAS

Las *rocas volcánicas,* también denominadas ígneas o efusivas, se presentan generalmente en forma de mantos o coladas, recubriendo grandes extensiones de la superficie terrestre, que se calculan en 2 millones de km^2. En ocasiones, sin embargo, pueden consolidarse en profundidad, formando grandes masas o lacolitos, que la erosión pone al descubierto.

En la estructura *microlítica* típica de estas rocas se advierten dos tiempos de cristalización: un primer tiempo, de cristalización lenta en profundidad, con formación de grandes cristales idiomorfos que se denominan *fenocristales,* y un segundo tiempo, de cristalización rápida ligada a la efusión del magma en superficie, que da lugar a la formación de cristales microscópicos, finos y alargados, *microlitos,* envueltos por una pasta vítrea amorfa.

La estructura *diabásica* u *ofítica* corresponde a las rocas volcánicas de profundidad o *lacolíticas,* caracterizadas por la presencia de grandes microlitos alargados de feldespato, de hasta 1 cm., entrecruzándose y dejando espacios más o menos triangulares en los que cristalizan minerales ferromagnésicos, generalmente del tipo de los piroxenos.

Las rocas efusivas se agrupan en una serie, que va de las más ácidas a las más básicas, comprendiendo los siguientes tipos: *Riolitas, Traquitas, Andesitas, Basaltos* y *Limburgitas.* Las ácidas, por lo general, son de tonos claros y poco densas, mientras que las básicas son obscuras y muy densas.

PRINCIPALES ROCAS VOLCANICAS

Riolitas. — Rocas amarillentas, grises o verdosas, con clara estructura fluidal, a la que alude su nombre, compuestas de fenocristales de feldespato potásico (sanidina) y cuarzo. La pasta es vítrea fluidal con algunos microlitos de feldespato y biotita.

Vidrios volcánicos.—Los magmas riolíticos producen abundantes vidrios. Pueden ser anhidros: *obsidiana* y *piedra pómez,* o hidratados: *pechstein....*

La *obsidiana* es un vidrio negro, brillante, de fractura concoidea y bordes cortantes. La *piedra pómez* es un vidrio volcánico espumoso, blanco o grisáceo, de brillo sedoso, compuesto de finísimas agujas y fibras entrecruzadas, de la misma composición que la obsidiana.

Traquitas. — Rocas de color gris ceniza o amarillentas, ásperas al tacto. Se componen de fenocristales de sanidina y plagioclasa y alguno de piroxeno, sobre una pasta microlítica fluidal de los mismos elementos, predominando la sanidina. Yacen en forma de diques, cúpulas y domos, debido a su gran viscosidad.

Andesitas. — Son rocas porfídicas de color gris, a veces casi negras, ásperas al tacto, compactas o algo porosas, compuestas de fenocristales de plagioclasa, andesina, anfíbol y piroxeno, que destacan sobre una pasta microlítica de los mismos elementos, con o sin vidrio. Muchos volcanes actuales, como el del Mont Pelé, en la Martinica, el Krakatoa, el Santorino, etc., presentan lavas andesíticas, caracterizadas por su gran viscosidad. Abundan extraordinariamente en la cordillera de los Andes, de donde toman su nombre de andesitas, y, en general, en las cadenas de plegamiento de edad terciaria. Después de los basaltos, son las lavas más abundantes en el Globo.

Basaltos. — Son rocas negras, compactas y pesadas, compuestas esencialmente de plagioclasa, augita y olivino. Los fenocristales de plagioclasa son raros; pero, en cambio, son frecuentes los de augita y olivino, que dan a algunos basaltos aspecto porfídico. La pasta está compuesta de microlitos de plagioclasa básica, augita, olivino y abundantes granillos de magnetita, con o sin sustancia vítrea. Son las más abundantes de todas las rocas volcánicas.

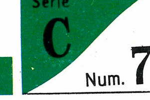
Las erupciones basálticas, constituidas por lavas muy fluidas, formaron en la era terciaria coladas enormees, como las del Dekan, en la India (300.000 km^2), ò las de la cuenca del Paraná, en el Brasil (900.000 $km.^2$).

Limburgitas. — Son rocas de aspecto basáltico y coloración pardorrojiza, ricas en fenocristales de augita y olivino sobre una abundante pasta vítrea, pardoamarillenta, rica en magnetita y de quimismo alcalino, que forma más de la mitad de la roca. Son poco abundantes, y su nombre procede de la localidad de Limburg, en Alemania.

Diabasas y Ofitas. — Comprenden las rocas volcánicas de profundidad. Sus condiciones de yacimiento más frecuentes son en forma de lacolitos y diques interestratificados. Se las agrupa también bajo la denominación general de *rocas verdes* de geosinclinal. Son rocas de grano grueso, o mediano, y tonos verdoso-obscuro, densas, holocristalinas y pobres en sílice (50 %), con típica estructura diabásica. Están compuestos de plagioclasa, anfíbol y augita.

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS



PETROLOGIA

ROCAS VOLCANICAS



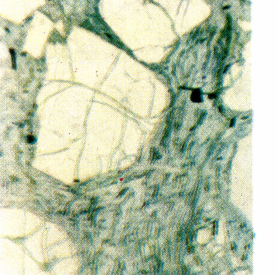
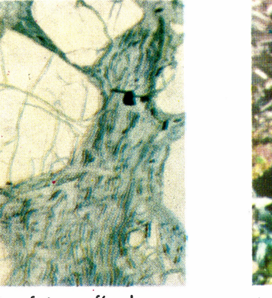
Riolita. - Greixa (Barcelona).

Basalto escoriaceo Olot (Gerona).

Basalto olivínico. - Olot (Gerona).



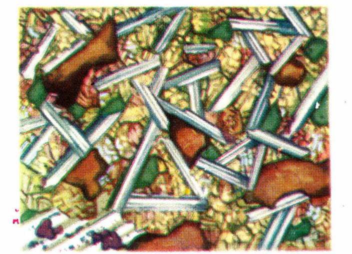
Obsidiana. Lípari (Italia).

Microfotografía de riolita fluidal.



Microfotografía de un basalto.



Microfotografía de una diabasa.



Ofita. - Aulet (Lérida).

GEODINAMICA

La Tierra es un conjunto de materias sometidas a una dinámica continua, tal como se ha indicado en la lámina C/1. El mineral, como partícula, y la roca, como unidad, son los elementos constitutivos de la corteza, los cuales están sometidos a una serie de fenómenos que los transforman, tendiéndose en todos ellos a la formación de rocas eruptivas, zócalo de las grandes formaciones orogénicas. Pero el ciclo dinámico no termina aquí, sino que, tan pronto como se consolida un relieve en la superficie terrestre, las fuerzas erosivas empiezan a actuar sobre ella con el fin de lograr reducirla y llegar al perfil de equilibrio morfológico ideal. No obstante, este equilibrio morfológico lleva consigo la destrucción del equilibrio de fuerzas internas de la corteza, que, a su vez, actúan produciendo nuevos fenómenos orogénicos, con nuevos relieves, que serán asimismo erosionados. Este ciclo dinámico de fenómenos que ocurren en la corteza terrestre es un verdadero *ciclo vital de la Tierra*, y la prueba de que ésta envejece es que cada nueva orogénesis es menor en potencia que su precedente, lo que significa que, lentamente, se va llegando al equilibrio real entre morfología y tectónica, momento en que desaparecerá el ciclo dinámico de la corteza terrestre y se habrá llegado a la fase estática y, por tanto, a la muerte de la Tierra.

La parte de la Geología que estudia el conjunto de fenómenos que integran el ciclo vital terrestre se denomina *Geología dinámica* o *Geodinámica*.

GEODINAMICA INTERNA

Comprende todos aquellos fenómenos dinámicos cuyo origen está en el interior de la corteza terrestre. Su acción es constructiva, y son los responsables de la formación del relieve terrestre. Podemos agruparlos en *fenómenos tectónicos, sísmicos y volcánicos.*

FENOMENOS TECTONICOS

La impresión de estabilidad y rigidez que nos produce la superficie terrestre no es sino aparente. Como ya se ha visto, los materiales que la componen están sometidos a una serie de incesantes movimientos en el transcurso de los tiempos geológicos, debido a la acción de los denominados *agentes geológicos internos* o *endógenos*. Fuerzas verticales y horizontales, expresión de la energía interna del Globo, provocan levantamientos y hundimientos, fracturas, desplazamientos y compresiones que dan lugar a una serie de estructuras geológicas, cuyo estudio corresponde a la *Tectónica*.

Dos tipos fundamentales de movimientos pueden producirse: los *epirogénicos* y los *orogénicos*.

Los *epirogénicos* son lentos movimientos de hundimiento o levantamiento, producidos por el juego de fuerzas verticales, que afectan a masas continentales. Estos movimientos son más apreciables en las regiones costeras, donde se traducen por un lento avance o retirada del mar, según se hunda o se levante el continente.

Los *orogénicos* se originan por la acción de fuertes movimientos horizontales que provocan la deformación y plegamiento de los sedimentos y su lenta elevación, hasta formar las grandes orogenias o cordilleras de plegamiento.

TEORIAS OROGENICAS

El enigma de las orogenias es uno de los problemas más apasionantes y trascendentales que tiene planteados la Geología. La orogénesis es un fenómeno complicado y lentísimo que se traduce en una serie de hechos geológicos estrechamente relacionados: sedimentación, plegamiento, metamorfismo y volcanismo. El fenómeno afecta a amplias zonas de la corteza terrestre, y una misma región puede verse afectada por sucesivas orogénesis en el transcurso de los tiempos geológicos.

El problema fundamental a resolver es el origen de las fuerzas colosales que provocan la compresión y el plegamiento de los estratos.

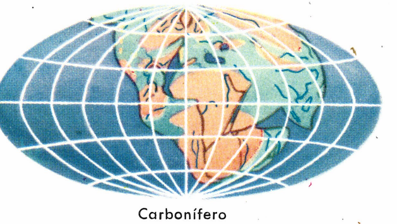
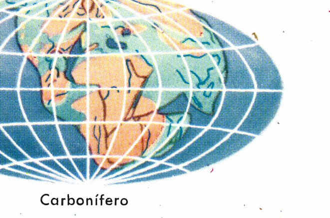
La noción de geosinclinal, una de las más fecundas en Geología, constituye el punto de partida de todas las interpretaciones del fenómeno orogénico. Dana utilizó en 1875 este término para designar zonas de sedimentación muy potentes, posteriormente plegadas y transformadas en cadenas de montañas.

La existencia de formaciones sedimentarias del mismo tipo, de varios miles de metros de espesor, no es posible explicarla más que admitiendo un lento hundimiento del fondo de la cubeta de sedimentación, mientras ésta se efectuaba. El espesor de los sedimentos que dieron lugar a los Alpes se calcula en 3.000 metros, y el de los del Himalaya, en 5.000 metros. A estas zonas de sedimentación, alargadas y de lento hundimiento, con profundidad máxima en una línea central que es el eje de la depresión, se las denominan *geosinclinales*.

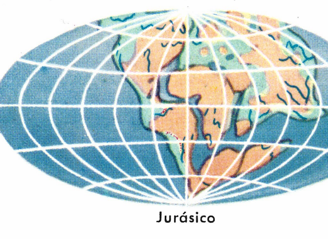


GEODINAMICA INTERNA

OROGENESIS

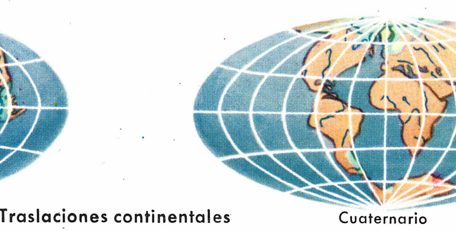
Carbonífero



Jurásico



Eoceno

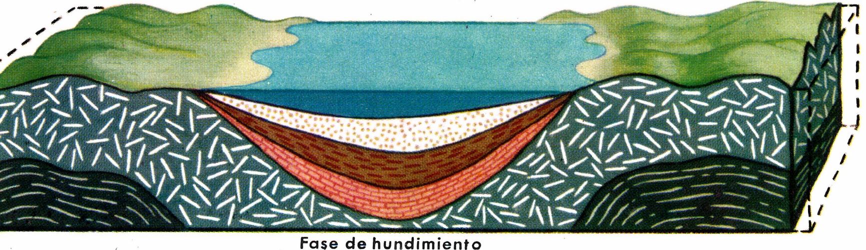


Cuaternario

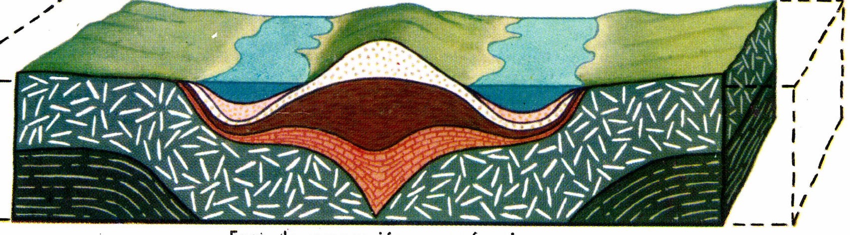
Traslaciones continentales



Formación del geosinclinal



Fase de hundimiento



Fase de compresión y orogénesis

Los geosinclinales se forman siempre en regiones de inestabilidad de la corteza, situadas entre dos macizos resistentes y estables que tienden a aproximarse. Así, los Pirineos se deben a un geosinclinal de la era secundaria formado entre la meseta central española y la francesa; Sierra Nevada, a otro, originado entre el macizo del Sahara africano y la meseta española. La reducción del área geosinclinal a consecuencia de la compresión orogénica es grande; así, el geosinclinal de los Alpes, que ocupaba 1.200 km., ha quedado reducido tras el plegamiento a una anchura de 150 kilómetros.

Los geólogos están conformes en considerar como causa de los plegamientos los empujes laterales, pero discrepan en cuanto a la causa u origen de dichos empujes. De aquí la diversidad de teorías orogénicas ideadas.

De todas ellas, la teoría de las *traslaciones continentales*, desarrollada por Alfredo Wegener en 1910, tuvo gran aceptación. Luchando por aportar nuevos datos para su teoría, encontró este sabio alemán trágica muerte en los hielos de Groenlandia.

La teoría de Wegener supone que, en su origen, los continentes estuvieron unidos, formando un inmenso continente o Pangea, que más tarde se fue fragmentando en bloques, los cuales, flotando sobre el sima, fueron separándose en un movimiento de deriva hacia el Oeste y hacia el Ecuador.

En la deriva del continente americano hacia el Oeste, su frente anterior se comprimió contra el sima del fondo del Pacífico, levantándose así la gigantesca cadena montañosa que corre desde Alaska a la Antártida. De manera similar, la emigración de los bloques continentales hacia el Ecuador provocaría el plegamiento de los geosinclinales, dando lugar a las orogenias de edad terciaria, desde el Himalaya, por los Alpes, hasta el Atlas africano.

La deriva de los continentes parece provocar un cambio de situación de los polos y el ecuador terrestre, lo que explicaría la formación de selvas carboníferas en las altas latitudes y las formaciones glaciares en zonas cercanas al Ecuador.

Con todo, ninguna de las teorías orogénicas ideadas ha logrado una aceptación definitiva, de forma que el enigma orogénico sigue pendiente de resolución.

TECTONICA DE PLEGAMIENTO

Un pliegue se compone de dos partes: la cóncava o *sinclinal* y la convexa o *anticlinal*; las líneas de mayor y menor altura en el pliegue se denominan *charnelas* anticlinal y sinclinal; los planos inclinados que los unen son los *flancos*; *plano axial* es el que une las charnelas de todas las capas de que consta el pliegue; *eje del pliegue* es la intersección del plano axial con la superficie horizontal; *dirección del pliegue*, la de su eje o la de su plano axial.

Los pliegues se representan por secciones perpendiculares al plano axial, denominados cortes transversales. Estos cortes transversales permiten reconocer los diferentes tipos de pliegues, los cuales están en relación con la intensidad del plegamiento.

Así distinguimos *pliegues rectos* o *simétricos* y *pliegues inclinados* o *asimétricos*, según la posición del plano axial sea recta o inclinada. Cuando el plano axial es casi horizontal tenemos el *pliegue tumbado*. En los pliegues siempre el estrato más moderno descansa sobre los más antiguos, excepto en los pliegues tumbados, en los que en el flanco inferior o inverso los estratos antiguos descansan sobre los más modernos.

Una serie de pliegues con sus flancos paralelos e igualmente inclinados constituyen los *pliegues isoclinales*.

Cuando el empuje que pliega los estratos actúa con más intensidad en una dirección, el pliegue es empujado según ésta, y uno de los flancos se estira y lamina hasta romperse, produciéndose un *pliegue falla*.

Este fenómeno se produce también en los pliegues tumbados, ocurriendo muchas veces que el flanco superior es empujado con tal fuerza que se desliza sobre el flanco inferior y es trasladado a distancias considerables sobre formaciones sedimentarias mucho más modernas, dando lugar a lo que se denomina *cabalgamiento* o *cobijadura*.

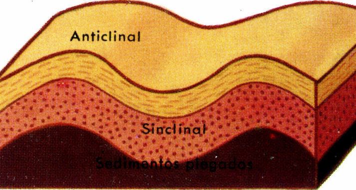
Cuando la erosión destruye la forma de los pliegues, o bien éstos son tan grandes que no los abarca nuestra vista, podemos reconocer su existencia tomando la dirección de las capas y su *inclinación* o *buzamiento* —ángulo que forma la línea de máxima pendiente de las capas, normal a la dirección, con el plano horizontal— pudiendo lograrse la reconstrucción de los pliegues, incluso de aquellos que han sido completamente arrasados por la erosión. Las mediciones indicadas se llevan a efecto por medio de la brújula de geólogo, que dispone de un pequeño pendulito para medir el ángulo de buzamiento.

La asociación de pliegues da lugar a las grandes cordilleras de plegamiento, como los Alpes, los Pirineos, Sierra Nevada, el Himalaya, etc., que no son sino

GEODINAMICA INTERNA

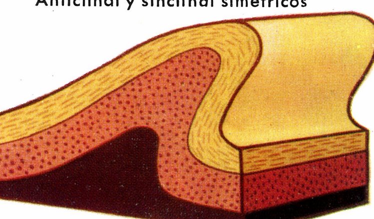
TECTONICA DE PLEGAMIENTO

Sedimentos horizontales

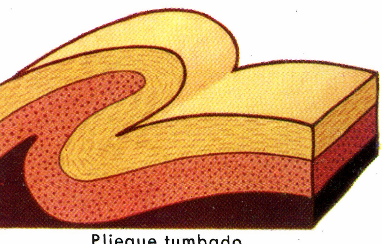


Anticlinal y sinclinal simétricos

Anticlinal y sinclinal asimétricos

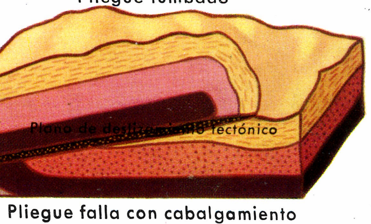

Pliegue anticlinal inclinado

Pliegues isoclinales


Pliegue tumbado

Plano de deslizamiento

Pliegue falla


Pliegue falla con cabalgamiento

Dirección y buzamiento de las capas


Montañas de plegamiento

los sedimentos de antiguos mares, fuertemente comprimidos y plegados por el fenómeno orogénico hasta emerger del fondo y formar los más altos macizos montañosos.

TECTONICA DE FRACTURA

La dinámica de la corteza terrestre hemos visto que puede dar lugar a deformaciones estructurales del tipo de los plegamientos.

Cuando las fuerzas que actúan sobre la corteza son predominantemente del tipo vertical, al sobrepasarse el límite de resistencia de las rocas sobreviene la ruptura en forma de dislocaciones y desplazamientos, en sentido vertical preferentemente, lo que determina hundimientos por fractura. A este tipo de dislocación se le denomina *falla*.

Una falla es, pues, una fractura producida en la corteza terrestre, con deslizamiento paralelo a la superficie de fractura.

La falla se inicia generalmente por un estiramiento de las capas sometidas a tensión, hasta que, sobrepasado el límite de elasticidad, se produce la rotura. A esta fase de deformación se le da el nombre de *flexión*.

Las fallas se presentan en todos los tipos de rocas, pero se reconocen más fácilmente en las rocas sedimentarias, ya que el desplazamiento de una de las partes con relación a la otra provoca el que las capas no se correspondan a uno y otro lado de la superficie de fractura.

La superficie de fractura a lo largo de la cual se ha producido el desplazamiento de una de las partes se denomina *plano de falla; línea de falla* es la intersección de este plano con la superficie del terreno.

Salto de falla es la distancia vertical, provocada por el desplazamiento, entre dos capas idénticas en edad y naturaleza litológica; el borde de la zona hundida constituye el *labio hundido* de la falla, en contraposición al *labio levantado*.

Atendiendo a la posición del *plano de falla* podemos distinguir *fallas verticales*, cuando se dispone verticalmente, y *fallas inclinadas*, cuando está inclinado. Las fallas inclinadas pueden ser *fallas normales*, cuando el plano de falla se inclina hacia el labio hundido, y *fallas inversas*, cuando se inclina del lado del labio levantado.

Según que los bordes de la falla estén en estrecho contacto o separados por una grieta más o menos ancha tendremos *fallas cerradas* o *abiertas*. En las primeras el desplazamiento y fuerte fricción de un borde contra otro produce un pulimento y estriación típicos, que se denomina *espejo de falla* y que atestigua la existencia del movimiento que ha dado lugar a la falla. En las fallas abiertas el movimiento se reconoce por la existencia de una zona de rocas trituradas, cementadas posteriormente por sustancias minerales depositadas por las aguas circulantes, que constituyen las *brechas de falla*.

Las fallas se reconocen muchas veces sobre el terreno por la aparición de bruscos desniveles y grandes cantiles, pero otras veces la erosión arrasa completamente el desnivel, y entonces la falla sólo puede reconocerse por la discontinuidad de las capas sedimentarias, con la consiguiente y brusca variación litológica a un lado y otro de la fractura, o bien por la existencia de brechas o espejos de falla.

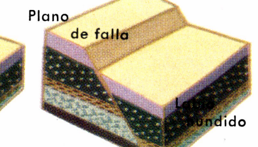
Las dislocaciones o hundimientos pueden producirse según fallas aisladas, como es el caso de la falla de Montjuich, en Barcelona, la de Gibraltar, etcétera, o bien por la asociación de dos o más fallas.

Así, la depresión del Vallés, en la provincia de Barcelona, está originada por el hundimiento de una gran zona limitada por dos fallas paralelas. A las depresiones originadas por dos fallas o grupos de fallas asociadas se las denomina *fosas tectónicas*, como las depresiones del Ebro y del Rhin, que están limitadas por un sistema de fallas en escalera.

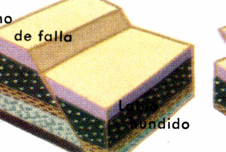
Los macizos o mesetas cuya elevación es consecuencia del juego de un sistema lateral de fallas en escalera se denominan *mesetas* u *horts tectónicos*. La meseta española y la central francesa constituyen ejemplos típicos de este tipo de dislocación tectónica.

El estudio y reconocimiento de las fallas presenta un gran interés en Geología, ya que la mayor parte de filones metalíferos se han originado en relación con este tipo de dislocaciones; en minería el reconocimiento de las fallas es indispensable, ya que frecuentemente las vetas o filones se ven afectados por sistemas de fallas que los dislocan y perturban; finalmente, en las grandes obras de ingeniería, como puentes, túneles, pantanos, etc., el estudio minucioso de la tectónica geológica de la región es indispensable en evitación de graves accidentes y serios fracasos.

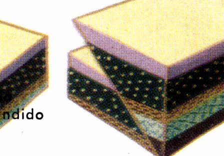
TECTONICA DE FRACTURA



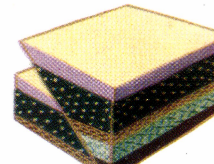
Flexión falla

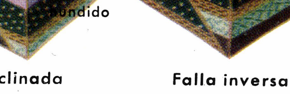
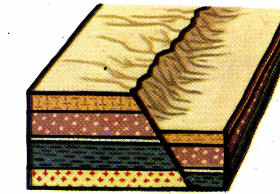


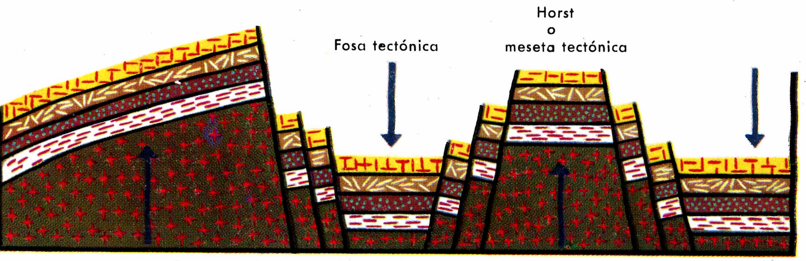
Falla vertical



Falla inclinada


Falla inversa



Fases de la formación y erosión de una falla

Fases en la formación de fosas y mesetas tectónicas


Relieve de una fosa tectónica

FENOMENOS SISMICOS

Los movimientos sísmicos o terremotos son sacudidas de la corteza terrestre caracterizadas por su corta duración y gran intensidad, y, muchas veces, por sus efectos destructores, que alcanzan en ocasiones caracteres catastróficos.

El estudio de los terremotos, su repartición geográfica, frecuencia y condiciones en que se producen corresponde a una parte de la Geología que se denomina *Sismología*.

Está comprobado que la causa inmediata de los sismos es el brusco movimiento de zonas de la corteza terrestre, producido principalmente a lo largo de fallas, y, en general, en zonas de inestabilidad tectónica. Los movimientos internos originados a consecuencia de la inestabilidad tectónica provocan unas vibraciones que se propagan por el interior de la Tierra, dando lugar a las *ondas sísmicas*.

El punto donde se produce el movimiento se denomina *foco sísmico* o *hipocentro*. A partir de él las ondas se propagan, según superficies esferoidales, hasta aflorar en la superficie. El punto de la superficie más cercano al foco sísmico se denomina *epicentro*.

La vibración producida en el hipocentro origina dos clases de ondas, las *primarias* o *longitudinales* (ondas P) y las *secundarias* o *transversales* (ondas S), cuyo movimiento vibratorio es normal a la dirección de propagación.

Cuando estas ondas llegan a la superficie terrestre producen otra clase de ondas, las *superficiales* (ondas L) que muchas veces quedan grabadas sobre el terreno en forma de ondulaciones o pliegues del suelo.

Las características de las ondas sísmicas y de su propagación han podido estudiarse gracias a unos aparatos que registran las vibraciones sísmicas, denominados *sismógrafos*.

El fundamento del sismógrafo es el péndulo. Este oscila tanto más lentamente cuanto mayor es su longitud y su masa. En razón a su gran inercia a ponerse en movimiento, cuando sobreviene un sismo el péndulo no tiene tiempo de oscilar y se comporta como un punto fijo al que podemos referir el movimiento de la corteza terrestre. El péndulo horizontal es el que mejores características de inercia reúne y el más usado modernamente.

El movimiento sísmico es registrado en una cinta giratoria por medio de un estilete o por un haz luminoso, situados en el péndulo, que impresionan un rollo de papel o una cinta fotográfica, respectivamente.

Mientras el suelo no tiembla el sismógrafo marca una línea recta, pero, en cuanto sobreviene una sacudida, la línea se hace ondulada, dándonos el *sismograma*, en el que puede medirse la amplitud y el período de las vibraciones.

Un sismograma completo consta siempre de cuatro fases, correspondientes al registro de cuatro clases de ondas sucesivas:

1.º Las ondas primarias P, que se transmiten en línea recta por el interior de la Tierra a una velocidad media de 6 km./s.;
2.º Las ondas secundarias S, que siguen el mismo camino, pero a una velocidad menor;
3.º Las ondas superficiales L, que se propagan por la superficie terrestre a una velocidad de 4 a 5 km./s., y
4.º Las ondas póstumas o réplicas, de débil amplitud.

Las ondas P pueden reflejarse dos o tres veces en la superficie de la corteza (ondas PP y PPP), antes de llegar a la estación sismológica, y lo mismo ocurre con las ondas S (ondas SS y SSS).

Los mejores sismogramas se obtienen cuando el terremoto se ha producido a distancias de 5.000 a 10.000 km. de la estación receptora, ya que entonces las distintas fases quedan bien diferenciadas en el sismograma.

Conociendo el tiempo de llegada de las distintas ondas, que viene marcado en el sismograma, y sus velocidades de propagación, se puede calcular por medio de fórmulas sencillas la distancia hipocentral y localizar la situación del foco sísmico. La profundidad de los focos sísmicos alcanza hasta los 700 km.

El estudio de los sismos y de su distribución geográfica ha permitido establecer, de manera indudable, su relación con los movimientos orogénicos más modernos.

Así se delimitan dos grandes bandas sísmicas: la *circumpacífica* y la *mediterránea* o *alpinohimalaya*, que coinciden con las grandes cadenas de plegamiento de la era terciaria.

Los terremotos van con frecuencia acompañados, en las regiones costeras, de olas gigantescas, a las que se denomina *maremotos*, de efectos terriblemente destructores, cuyo origen se debe a grandes hundimientos oceánicos que provocan la retirada de las aguas que precede al posterior avance de la llamada *ola de marea*.

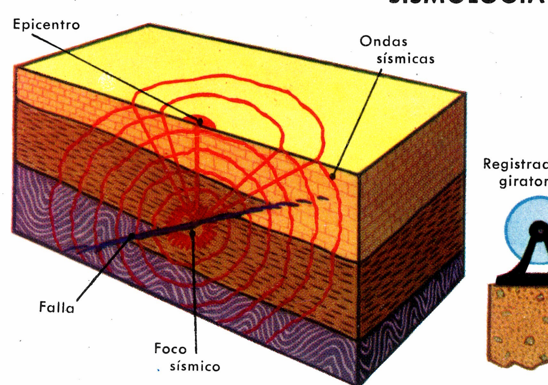
Atlas de GEOLOGIA

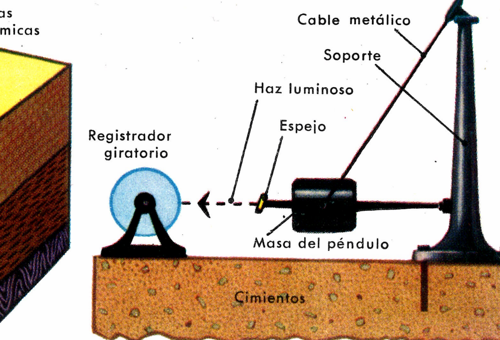
POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS



GEODINAMICA INTERNA

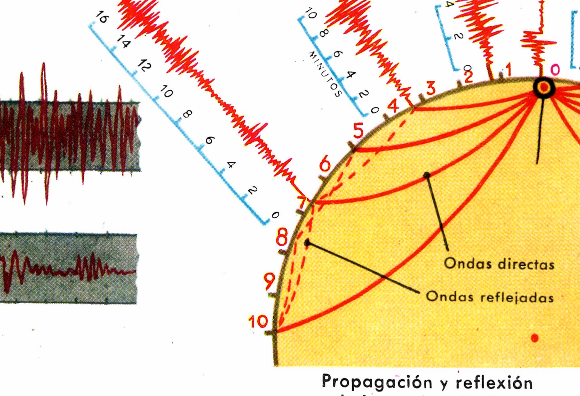
SISMOLOGIA



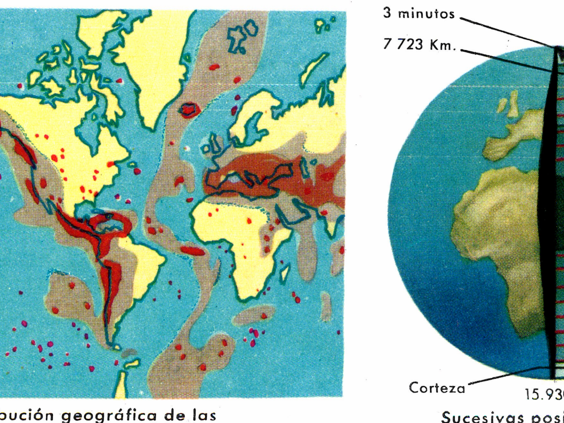


Esquema de un sismógrafo

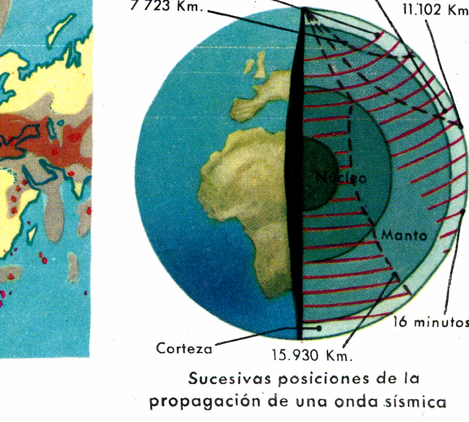
Sismogramas



Propagación y reflexión de las ondas sísmicas



Distribución geográfica de las zonas sísmicas



Sucesivas posiciones de la propagación de una onda sísmica

FENOMENOS VOLCANICOS

El fenómeno volcánico, por su rapidez y espectacularidad, impresionó al hombre desde sus primeros tiempos, viéndose reflejada esta impresión en la mitología pagana, que hizo de los volcanes la morada de los dioses.

Los volcanes son los aparatos naturales por los cuales salen al exterior materiales fundidos del interior de la corteza, que, al derramarse en la superficie, constituyen las *lavas*. Los canales o chimeneas de salida de las lavas son profundas fracturas de la corteza terrestre que ponen en comunicación los focos magmáticos con el exterior.

El volcanismo, contrariamente a lo que se creyó en un principio, no tiene relación alguna con las zonas más internas del Globo, sino que es un accidente local de la corteza terrestre, relativamente poco profundo, ya que los focos volcánicos se localizan entre los 20 y 40 km. de profundidad.

La tectónica profunda, con sus colosales deslizamientos de bloques, provoca la fusión en las rocas de fricción por transformación de la energía mecánica en energía calorífica, con el consiguiente desarrollo de focos magmáticos que darán lugar a los volcanes.

El volcán, en general, está constituido por un relieve de forma cónica, *cono volcánico*, terminado por una excavación a modo de embudo, *cráter*, que comunica directamente con la *chimenea*, por donde ascienden las *lavas* y los materiales de explosión, *bombas* y *cenizas volcánicas*.

Cuando el cráter se presenta en forma de una gran cavidad circular, debida a una explosión o a un hundimiento, recibe el nombre de *caldera*.

El cono volcánico es posterior a la erupción, ya que se origina por la acumulación sucesiva de lavas y productos de explosión.

La erupción se anuncia por una serie de signos precursores consistentes en *ruidos subterráneos*, temblores de tierra y escape de gases o fumarolas que se hacen abundantes, hasta que sobreviene la erupción propiamente dicha, iniciada frecuentemente por grandes explosiones originadas por la enorme presión de los gases y vapores y la salida de la lava.

En las erupciones volcánicas salen al exterior tres clases de productos: gaseosos, sólidos y líquidos.

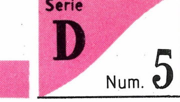
Productos gaseosos. — Su salida provoca la formación de una enorme columna de humo, en forma de copa de pino, que puede alcanzar varios kilómetros de altura. Otras veces los gases forman nubes opacas y densas que descienden por los flancos del volcán a una gran velocidad y a temperaturas de unos 1.000°, arrasando cuanto encuentran a su paso; son las trágicas *nubes ardientes*. Estas columnas gaseosas o nubes ardientes se componen de H_2O, CO_2, CO, N, H, CH_4, cloruros metálicos al estado de vapor, gas sulfuroso, etc. Como algunos de estos gases son inflamables, es frecuente ver salir del cráter grandes llamaradas.

Productos sólidos. — Son de naturaleza y tamaño variables, y proceden de las paredes de la chimenea y del basamento del volcán, o bien son porciones de lava solidificada en el aire, que las explosiones lanzan a gran altura. La proyección de lava da lugar a masas redondeadas fusiformes, que reciben el nombre de *bombas volcánicas*. Las cenizas, por su pequeñísimo tamaño, pueden ser arrastradas por los vientos a distancias considerables. Las *nubes de cenizas* pueden ser particularmente catastróficas, como fue el caso de Pompeya, sepultada completamente por las cenizas del Vesubio en la erupción del año 79 de nuestra era.

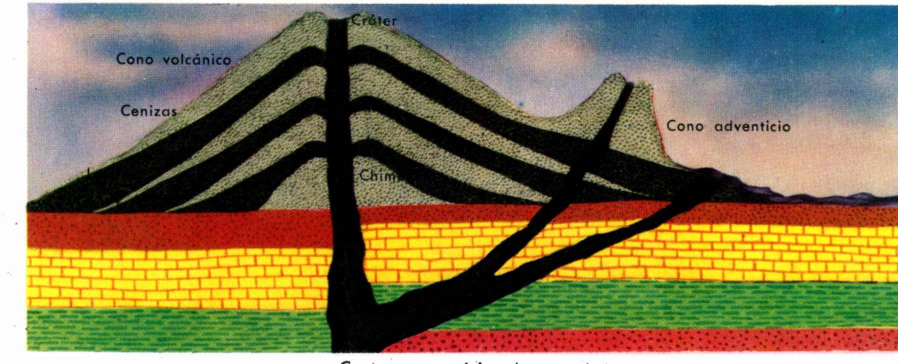
Productos líquidos. — Son las lavas que fluyen de los cráteres o de las fisuras a temperaturas superiores a los 1.000° y se desbordan por los flancos del cono, formando verdaderos ríos de fuego. Estas masas o mantos de lava solidificada se llaman *coladas* o *corrientes volcánicas*, pudiendo cubrir extensiones considerables de terreno, como es el caso de las lavas basálticas muy fluidas o bien consolidarse a poco de su salida del cráter, formando cúpulas o pitones, como ocurre con las lavas ácidas, mucho más viscosas.

La parte superficial de estas corrientes volcánicas se solidifica pronto, formando una corteza escoriácea, pero no así la masa principal, que se mantiene fluida durante mucho tiempo. Esta diferencia de comportamiento da lugar a la formación de las *lavas cordadas*. *Mal país* llaman los canarios a las zonas cubiertas de lavas escoriáceas.

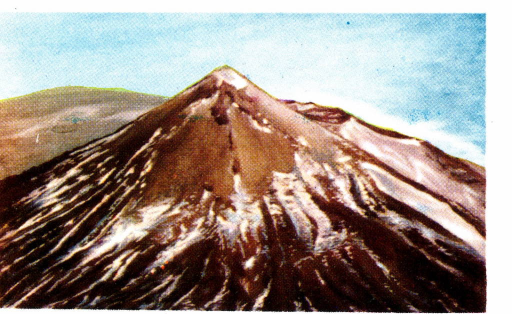
Otra característica de la consolidación de corrientes de lavas es la estructura prismática que representan internamente, debido a la retracción por enfriamiento. Estos prismas son siempre normales a la dirección de la corriente, y dan lugar a las famosas *columnatas basálticas*, como las de la gruta de Fingal, en Escocia, o la Calzada de los Gigantes, en Irlanda, que es una plataforma litoral donde más de 40.000 prismas basálticos, vistos según su sección, simulan un gigantesco adoquinado.



VOLCANISMO



Corte esquemático de un volcán



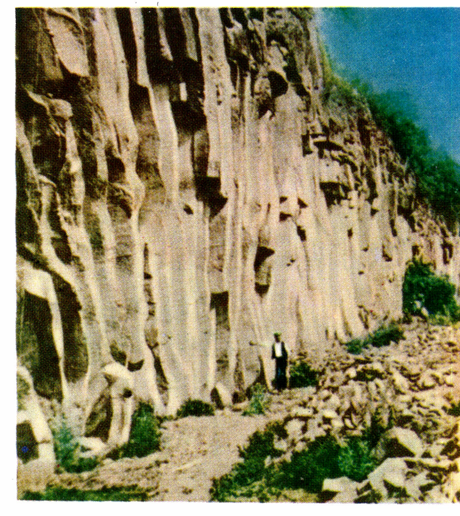
Cráter del Teide (Canarias)



Lavas cordadas



Bomba volcánica fusiforme y en corteza de pan



Columnata basáltica de Castellfullit (Gerona)

TIPOS DE VOLCANES

Según las características de las erupciones, la naturaleza de las nubes ardientes y la clase de lavas emitidas, pueden distinguirse cuatro tipos de volcanes: Islándico, Hawaiano, Vulcaniano y Peleano.

Tipo Islándico. — Corresponde al volcanismo llamado *fisural*, caracterizado por la salida tranquila de lavas muy fluidas a lo largo de profundas fracturas de la corteza terrestre, sin formación de verdadero cono volcánico. Toma su nombre del tipo de erupciones que predominan en Islandia. Las emisiones de Laki, por ejemplo, se realizan a través de ciento cinco bocas de salida, perfectamente alineadas a lo largo de una falla de 20 km. de longitud.

Tipo Hawaiano. — Caracteriza los volcanes del archipiélago de las islas Hawai, todo él de origen volcánico. Corresponde a erupciones silenciosas, tranquilas, de lava extraordinariamente fluida, de composición basáltica, sin nubes ardientes, explosiones ni proyecciones volcánicas. El Mauna-Loa y el Mauna-Kea, que son los principales, no han variado su tipo de erupción en el curso de su existencia milenaria.

El aspecto exterior de este tipo de volcanes es el de un cono *rebajado* de pendientes muy suaves. Así, el cráter del Kilanea forma una caldera o lago de lava, de unos 5 km. de diámetro, en el cual las lavas se mantienen fluidas, agitadas por corrientes y remolinos. Es típico de estos volcanes la formación de unos hilos de vidrio llamados *cabellos de Pele*, que cubren las lavas en forma de tela de araña. Cada ocho años aproximadamente la lava desborda el cráter y se extiende en coladas inmensas hasta el mar. A este tipo de erupciones correspondieron las enormes emisiones basálticas del Dekan, las de Groenlandia oriental, etc.

Tipo Vulcaniano. — Corresponde a erupciones de gran violencia, con formidables explosiones, debido a la dificultad de los gases y vapores para desprenderse de la lava. Las coladas son poco extensas y de superficie muy irregular. Presentan estos volcanes un tipo de *conos estratificados* o *mixtos*, formados por la alternancia repetida de lavas y cenizas.

Las explosiones producen gigantescas calderas, dentro de las cuales es frecuente la formación de uno o más cráteres, y cantidades enormes de cenizas y productos de explosión con bombas en corteza de pan y bloques de rocas arrancados del basamento. Sus lavas, aunque viscosas, forman muchas veces verdaderas corrientes.

La erupción del Krakatoa, 1883, en el estrecho de la Sonda, lanzó al aire las dos terceras partes de la isla. La erupción del Vesubio, 79, fue también del tipo vulcaniano. El Etna, los volcanes de las islas Canarias, etc., corresponden también a este tipo de erupciones.

Tipo Peleano. — Es en realidad un aspecto particular del tipo anterior, que se caracteriza también por explosiones violentas, una lava extraordinariamente viscosa y casi solidificada a su salida y la formación de nubes ardientes, extraordinariamente densas y opacas, cargadas de cenizas que se deslizan por los flancos del volcán a gran velocidad. Este tipo de erupción toma el nombre del volcán Mont Pelé, de la Martinica, en cuya erupción del 1902 la lava semisólida formó una aguja o pitón de 400 metros de altura, que fue volada finalmente por una enorme explosión. La nube ardiente que escapó por una salida lateral arrasó la ciudad en un minuto escaso y mató a sus 28.000 habitantes. Pitones parecidos de lava andesítica viscosa se formaron en las erupciones de 1929 y 1930.

MANIFESTACIONES VOLCANICAS POSTERUPCIONALES

Después de la erupción suelen seguir los volcanes, por mucho tiempo, emitiendo gases y vapores, que se denominan *fumarolas*, a temperaturas alrededor de los 500°, y reciben distintos nombres según su temperatura y composición química.

El análisis químico conduce a dividirlas en cloruradas, clorhídricas, amoniacales, sulfídricas y carbónicas, ordenadas según su aparición a medida que el volcán se va enfriando.

Las *solfataras* se diferencian de las fumarolas por su mayor riqueza en vapor de agua, temperatura inferior a 100° y por lanzar chorros intermitentes de vapor de agua, hidrógeno sulfurado, gas carbónico, etc.

Otro tipo de emanaciones volcánicas son los *géiseres*, que consisten en surtidores intermitentes de agua líquida, mezclada con vapor de agua, a una temperatura de 70 a 100° C, cargada de sales, calcita y sílice principalmente. Son célebres los géiseres de Islandia y los del Parque de Yellowstone, en Estados Unidos.



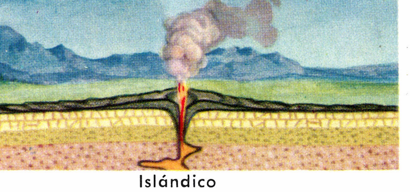
Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

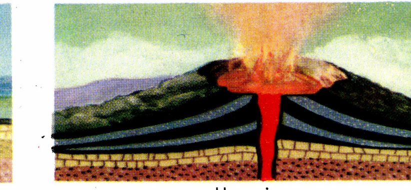


GEODINAMICA INTERNA

VOLCANISMO



Islándico

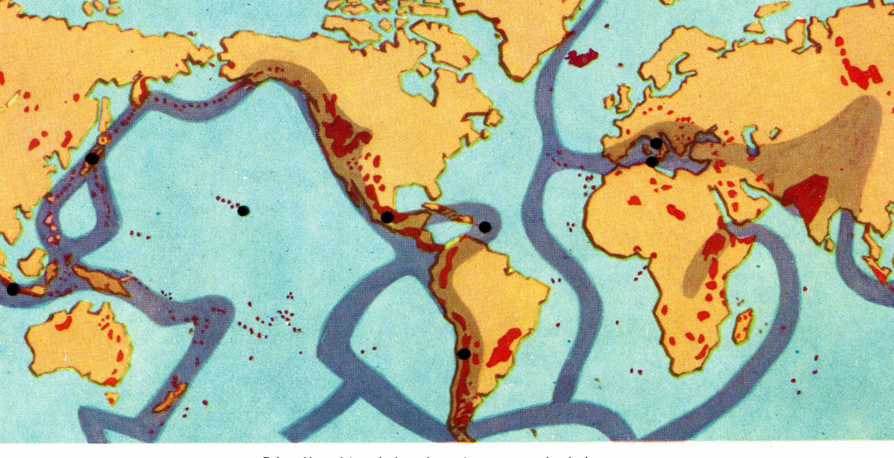


Hawaiano

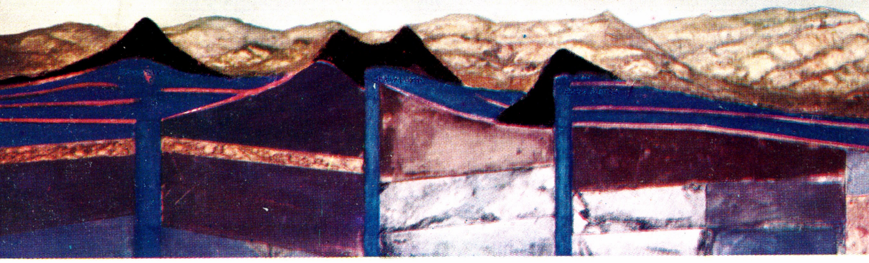


Vulcaniano

Peleano



Distribución del volcanismo en el globo



Corte geológico de la región volcánica de Olot (Gerona)
(Museo de Geología de Barcelona)

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

GEODINAMICA EXTERNA

METEORIZACION Y FORMACION DEL SUELO

GEODINAMICA EXTERNA

La parte de la Geología que estudia las causas y efectos que modelan la superficie terrestre, erosionando el relieve que las fuerzas internas han creado, se denomina *Geodinámica externa*. Pertenecen a ella los fenómenos que integran el ciclo erosivo terrestre, la erosión litoral y sedimentación marina y, hasta cierto punto, los fenómenos meteorológicos y oceánicos.

CICLO EROSIVO TERRESTRE

El *ciclo erosivo terrestre* lo consideramos integrado por tres fases: la meteorización de las rocas, el transporte de los materiales destruidos y la sedimentación final de los materiales transformados. Cada una de estas fases produce un modelado superficial característico, y, dentro de ellas, las distintas acciones dan morfologías típicas, que estudiaremos separadamente, pero sin olvidar que son parte del ciclo erosivo y que su finalidad es exclusivamente el lograr el perfil de equilibrio morfológico terrestre. Luego, cualquier modelado terrestre actual no es más que un paso meramente accidental dentro de la evolución general de la superficie.

A) METEORIZACION

La primera fase del ciclo es la alteración de las rocas de la corteza por los agentes atmosféricos; de aquí la denominación de *meteorización, nombre* de uso general, ya que es similar al *weathering*, empleado por los ingleses, o al *verwitterung*, de los alemanes. Esta acción puede ser de *orden físico*, produciendo la *disgregación* o *desintegración de las rocas*, o *químico*, que origina la *descomposición total* o *parcial* de los minerales que las integran, ya sea por una verdadera *disolución* y posterior deposición, ya sea por una *transformación en estado sólido*.

La *disgregación* o *desintegración* se facilita por la existencia en la roca de roturas, las *diaclasas*, debidas ya sea a las condiciones de enfriamiento de las rocas eruptivas o bien a relajamientos de presión durante la acción de las fuerzas tectónicas, o a las condiciones de consolidación de los sedimentos. Al principio son extraordinariamente delgadas, pero pronto, bajo los efectos de los agentes de la erosión, se ensanchan y son verdaderas fisuras por donde estos mismos agentes penetran hasta el corazón de la roca.

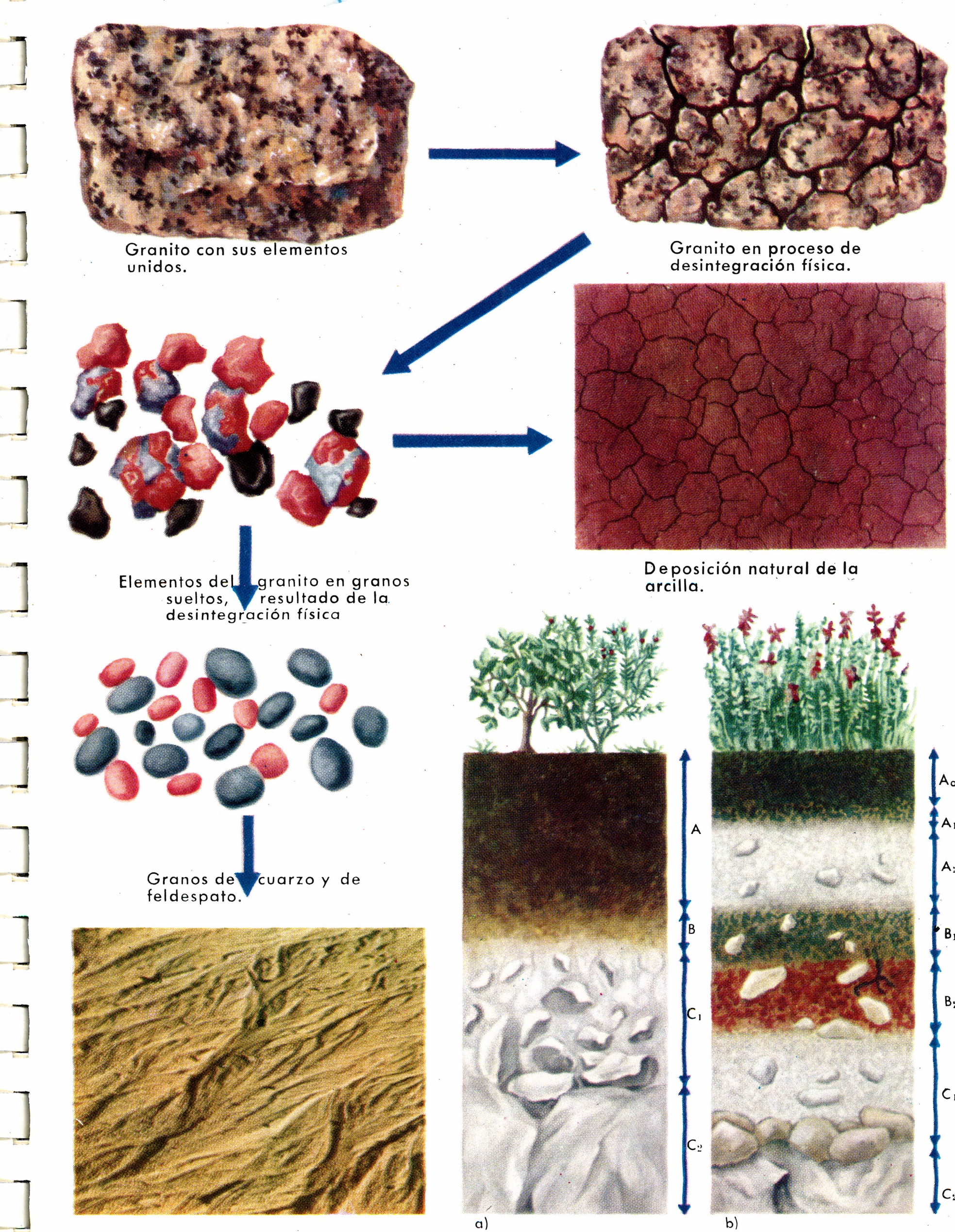
Estas diaclasas se llenan de agua, la cual, bajo el descenso de temperatura nocturno que se produce en la alta montaña, se hiela, y, al aumentar de volumen, rompe las rocas por efecto de la presión, llegando a hacerlas estallar como verdaderas bombas. También actúan sobre estas irregularidades las variaciones de temperatura entre día y noche, que en las regiones altas son elevadas. Los distintos coeficientes de dilatación de los minerales que forman la roca se traducen en tensiones que tienden a aumentar las fisuras existentes. Y, ya en el último estadio de disgregación, actúan los organismos vivos, sobre todo las raíces de los árboles que se introducen por las grietas de las rocas y, al crecer, rompen grandes bloques con relativa facilidad.

La acción mecánica de los agentes físicos de la erosión es, en clima templado, más indirecta que directa, y sirve para preparar la acción de la erosión química sobre la roca, proporcionando la vía de acceso del agua, su principal agente, a todos los puntos de la misma. En cambio, en clima desértico o de alta montaña la erosión física es responsable de la mayoría de las transformaciones que tienen lugar.

La *descomposición por disolución* es muy desigual en las distintas rocas, dependiendo de los minerales que las integran. El cuarzo no se disuelve prácticamente, mientras que las calizas son muy solubles en agua cargada de CO_2. La disolución puede efectuarse en profundidad por acción de aguas subterráneas, formaciones cársticas, o bien en la superficie o cerca de la superficie por aguas de infiltración. Los elementos que estas aguas llevan en disolución actúan, a su vez, sobre otros minerales, produciéndose una serie de reacciones químicas que llevan a la formación de minerales del tipo de arcilla o de hidróxidos complejos de Al y Fe insolubles. El punto donde este complicado mecanismo se detiene depende de la actividad de los agentes climáticos, de la cantidad de agua y de la naturaleza de las rocas sometidas a descomposición.

Pero para que el mecanismo de la descomposición química se produzca no es indispensable que exista disolución; las transformaciones mineralógicas pueden ocurrir sin que el mineral pierda su consistencia ni, en muchos casos, su forma: es la *transformación en estado sólido*. Los cubos de pirita se oxidan, pasando a limonita, sin que su forma se altere en absoluto; la anhidrita se hidrata, pasando a yeso, sin necesidad de disolución alguna, aunque existe un cambio apreciable de forma.

El resultado final de estas acciones, que se observan esquemáticamente en



Granito con sus elementos unidos.

Granito en proceso de desintegración física.

Elementos del granito en granos sueltos, resultado de la desintegración física

Deposición natural de la arcilla.

Granos de cuarzo y de feldespato.

Deposición natural de la arena.

a) b)

a) suelo de redsina parda
b) suelo ferro húmico asturiano.

la lámina E/1, es la formación de *arena* cuando la disgregación predomina, y de *arcilla* cuando predomina la descomposición. Si la acción química es muy intensa, en condiciones extremas se forman *bauxitas* y *lateritas*, complejos de hidróxidos de Al y Fe insolubles.

La acción de la vegetación, con el consiguiente aporte de materia orgánica a este conjunto de materiales semidescompuestos, y del agua de infiltración cargada de elementos disueltos, lleva a la formación de una capa delgada superficial, de características especiales, en la que tienen lugar los fenómenos químicos y biológicos que permiten la existencia de vegetales. Esta capa, que se distribuye a lo largo y ancho de nuestro Globo, y sin la cual no sería posible la vida en nuestro planeta, es el *suelo*.

B) TRANSPORTE

El *transporte de los materiales destruidos* se realiza por medio de tres agentes: *hielo, agua* (superficial y profunda) y *viento*.

Estos agentes no actúan exclusivamente como meros transportistas de materiales, sino que, a su vez, son autores de un nuevo tipo de erosión, la *erosión por arrastre*. Así, los lugares de la superficie terrestre por los que pasan se modifican, adquiriendo el paisaje un modelado típico, que, según el agente a que es debido, se denomina: *glaciar, fluvial, cárstico* o *eólico* (desértico).

a) **El hielo como agente geológico.**— En las regiones frías de la Tierra, altas montañas y zonas polares, las precipitaciones se efectúan en forma de nieve, que, por su estado sólido, permanece en el lugar donde aquéllas se producen. En los períodos invernales se forman en estas regiones grandes acumulaciones de nieve, que en las zonas de las nieves perpetuas se congelan y forman masas sólidas de hielo, las cuales se deslizan suavemente hacia lugares de menor altitud debido al gradiente gravitatorio. Estas masas de hielo en movimiento constituyen los *glaciares*.

El glaciar se inicia en una zona alta, generalmente de pendientes abruptas, donde se producen abundantes precipitaciones en forma de nieve, que pasa a integrar la masa de hielo; esta zona se denomina *cuenca de alimentación* y es la parte más importante de la *zona de acumulación*. La masa de hielo se desliza por hondonadas o valles, algunas veces de pendiente suave y otras de fuerte desnivel, constituyendo un verdadero río de hielo; es la *lengua* del glaciar, que puede tener gran longitud, y cuya parte superior está dentro de la zona de acumulación, ya que recibe aporte de nieve casi de manera continua, mientras su parte inferior queda en la *zona de evaporación*, en la que empiezan las pérdidas de hielo por fusión y evaporación. Finalmente, la extremidad de la lengua constituye el *frente* del glaciar, y su área, la mayor parte de la *zona de fusión*.

El movimiento de esta gran masa de hielo desde la cuenca de alimentación hacia el frente del glaciar se produce con gran suavidad, desplazándose entre 100 y 10 metros por año (glaciares alpinos). A causa de los rozamientos con las paredes del cauce y del lecho, la velocidad mayor corresponde al centro de la lengua y a la zona media superior; esto ha podido comprobarse clavando una línea de estacas perpendicularmente al avance del glaciar y observando que, al cabo de cierto tiempo, habían formado un arco con la convexidad hacia abajo.

El hielo del glaciar actúa como un sólido plástico, ya que se adapta perfectamente a los accidentes del terreno, rompiéndose únicamente en aquellas zonas en que las irregularidades son fuertes, y produciéndose *grietas* tanto más profundas cuanto mayor sea el accidente. No obstante, no llegan al fondo del glaciar, donde existe la *zona de flujo* sobre la que toda la masa restante de hielo, *zona de fractura*, se apoya para deslizarse. Las grietas pueden ser *transversales, longitudinales* o *marginales*, según la relación que guarden con la dirección del curso.

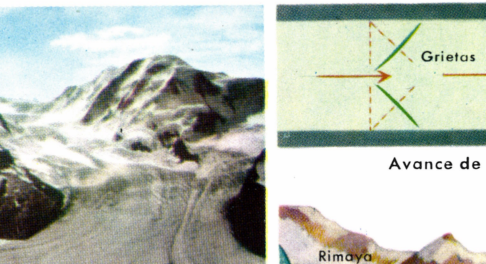
A lo largo de su recorrido, el glaciar recibe aportes rocosos de origen diverso, cantos caídos de las vertientes o desprendidos de la pared por rozamiento, arenas, etc., que acumula en determinadas zonas, originando depósitos de derrubios que arrastra con él, denominados *morrenas*. Las morrenas pueden ser *superficiales, interiores* y *de fondo*; de las primeras, unas son *laterales*, compuestas de cantos de diversos tamaños, pero todos *angulosos* e *irregulares*, que ocupan los bordes de la lengua glaciar, y otras *centrales*, producidas por dos morrenas laterales cuando se unen dos lenguas glaciares para formar una sola. Existen, además, las *morrenas fijas*, consecuencia de la fusión del glaciar al llegar a regiones más templadas; pueden ser *frontales*, a modo de dique o presa en forma de herradura, de concavidad abrupta, mirando hacia arriba, o bien *marginales*, gran-

Atlas de GEOLOGIA

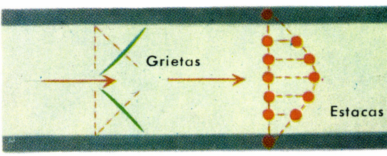
POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

GEODINAMICA EXTERNA

MORFOLOGIA GLACIAR



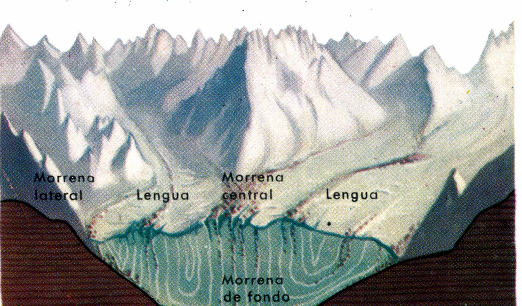
Vista del glaciar del Monte Rosa (Suiza).



Avance de un glaciar

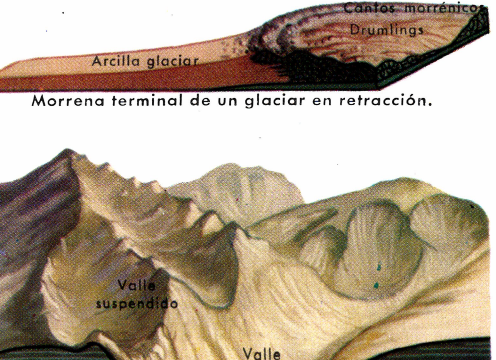


Perfil longitudinal y zonas diferenciales de un glaciar.

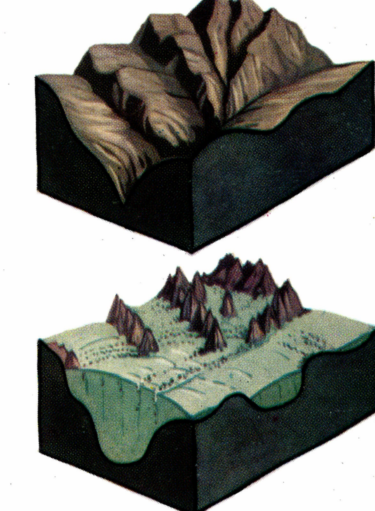


Perfil transversal de la confluencia de dos glaciares.

Morrena terminal de un glaciar en retracción.



Valle glaciar con sus confluentes o valles suspendidos.



Esquema de la transformación de un relieve fluvial en un relieve glaciar.

des cordones de piedras que quedan abandonadas en las paredes a medida que desciende el nivel del hielo del glaciar.

Los glaciares, en su movimiento, trasladan grandes cantidades de rocas parcialmente disgregadas, y modelan el terreno por el roce de la masa de hielo sobre las paredes y el lecho del glaciar. Esta última acción es la responsable de la formación de los *valles en forma de herradura*, con perfil en U, tan característicos de la morfología glaciar, así como de los *circos*, hoyas semejantes a cuencas de recepción, pero con fondo plano y paredes verticales, que se hallan en la parte alta de las montañas y que, cuando se retiran los hielos, se transforman en cubetas lacustres.

b) **El agua como agente geológico.** — La acción del agua como agente modelador de la superficie terrestre es casi universal, siendo elemento esencial en las tres fases del ciclo erosivo terrestre: en la meteorización, como agente de la descomposición química; en el transporte, por su acción en torrentes y ríos, y en la sedimentación, porque se realiza casi siempre en medio acuoso (lagos y mares). Si consideramos, además, su actividad en la erosión por arrastre, no es de extrañar que se conozca como *erosión normal* la acción del agua sobre la corteza terrestre.

El agua de lluvia, al caer sobre la superficie terrestre, se desliza por las pendientes, con mayor o menor fuerza según su desnivel, arrastrando las partículas de tierra y roca que en ellas existan. Si la precipitación acuosa tiene lugar en regiones altas donde las pendientes son pronunciadas, la fuerza de arrastre de estas aguas crece, produciendo zonas que pueden transformarse en verdaderos arroyos. Cuando la precipitación es elevada, la acción de estas aguas, denominadas *aguas salvajes*, puede llegar a ser catastrófica, ya que arrastran la capa de suelo que sirve de sostén al manto vegetal y dejan al descubierto la roca base, destruyendo las posibilidades agrícolas y forestales de la región.

Los arroyos formados por la acción de las aguas salvajes crecen y se transforman en barrancos profundos por los que circulan cursos de agua regulares y organizados: son los *torrentes* y *ríos*, que difieren únicamente en la longitud y el caudal, periódico e irregular en los primeros, constante en los segundos.

Los torrentes pueden dividirse, de acuerdo con la fuerza erosiva del agua que por ellos circula, en tres partes: la *cuenca de recepción*, donde se recogen las aguas salvajes de las laderas vecinas, es la zona superior del torrente y tiene forma de embudo; el *canal de desagüe*, por el que el agua, ya regularizada, desciende a cotas inferiores, y donde se produce una intensa labor erosiva de arrastre al mismo tiempo que se transportan los materiales destruidos en las partes altas; y el *cono de deyección*, situado en las cotas bajas por las que el torrente se desparrama y donde se acumulan los derrubios arrastrados por la corriente.

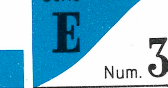
En los ríos se distinguen asimismo estas tres partes, que se denominan *curso superior*, *curso medio* y *curso inferior*.

La preponderancia en cada tramo del curso de un río de alguno de los procesos indicados determina la modificación de su cauce. Esta modificación tiende a anular la acción erosiva o de sedimentación a lo largo del curso, de tal modo que el resultado final sea el equilibrio en todas sus partes, o sea que no exista erosión en la superior ni deposición en la inferior. El perfil longitudinal del río en esta fase se denomina *perfil de equilibrio*, y es indicación de que está en plena senectud.

La erosión por arrastre de las aguas fluviales produce la excavación del cauce del río y el modelado de las vertientes. La acción sobre el cauce se efectúa a manera de sierra gigante, ahondándolo, y en los torbellinos, por efecto del movimiento rotatorio, perforándolo; estos últimos producen excavaciones denominadas *ollas*, *cárcavas* o *marmitas torrenciales*. Cuando un río pasa de un terreno duro a otro de más fácil desgaste, se produce un desnivel debido a la desigual erosión de ambos, que se traduce en la aparición de una *cascada*. La fuerza del agua que cae por ella produce una excavación a sus pies, las llamadas *marmitas de gigante*, que, al crecer, acaban por producir el hundimiento de parte del techo y el retroceso del frente de la cascada. Si la diferencia de cohesión de los terrenos es poca y, por tanto, el desnivel es débil, se forman los *rápidos*, zonas en las que el agua desciende con mayor fuerza, sin llegar a constituir cascada.

Las vertientes del río están, a su vez, sometidas a la erosión doble de las aguas salvajes, que tienden a formar arroyos tributarios, y del desgaste producido por el desplazamiento fluvial en sus márgenes. Si la roca de pared es dura, la erosión del cauce es mucho más intensa, y el río discurre encauzado entre escarpados y angosturas; por el contrario, si la pared es de roca blanda la erosión es tanto o más intensa que la del cauce, y el río se desarrolla

Atlas de GEOLOGIA



POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

GEODINAMICA EXTERNA

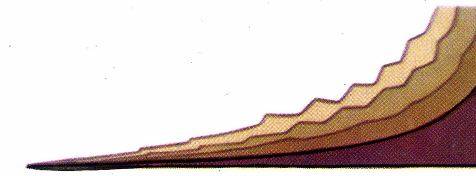
MORFOLOGIA FLUVIAL

Cuenca de recepción

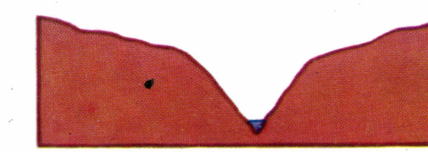
Canal de desagüe

Cono de deyección

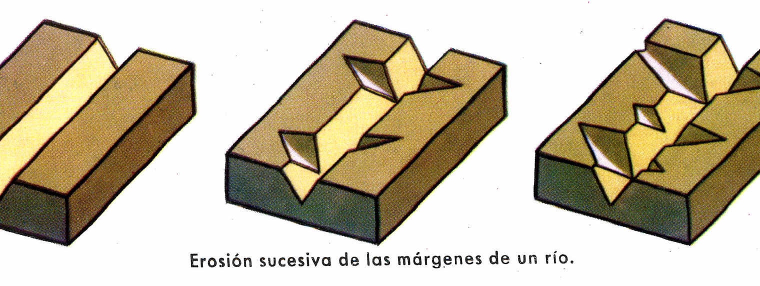
Esquema de un torrente.



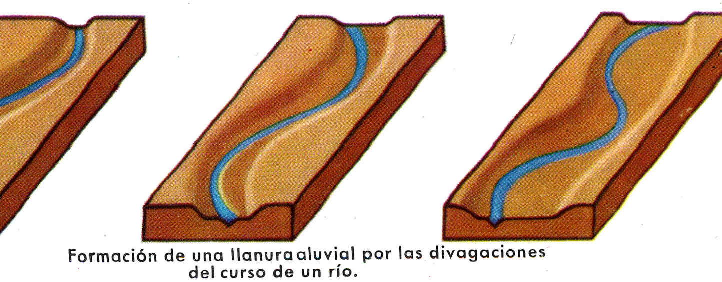
Distintos perfiles longitudinales del lecho de un río a medida que avanza la erosión fluvial. El perfil mas obscuro es el llamado de equilibrio.



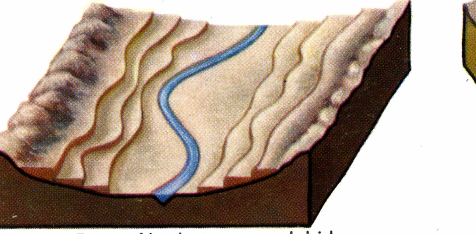
Sección en V de un valle fluvial.



Erosión sucesiva de las márgenes de un río.



Formación de una llanura aluvial por las divagaciones del curso de un río.



Formación de terrazas debida a los cambios del nivel de base.



Cuando un río desemboca en un mar de mareas flojas, los materiales que arrastra forman un delta.

en anchura. En la parte superior del río, la erosión sobre las vertientes se traduce en la formación de arroyos que pasan a torrentes tributarios del curso de agua principal, mientras en la parte inferior, al desarrollarse en anchura, pierde velocidad y empieza a divagar, describiendo circunvoluciones denominadas *meandros*, que, al evolucionar, dan origen a *valles aluviales*.

Los materiales que transporta una corriente de agua pueden clasificarse, según su tamaño, en *bloques, grava, cantos rodados, arenas* y *arcillas*. Todos los sedimentos de origen fluvial se denominan *aluviones*, y las formaciones sedimentarias a que dan origen, *aluviales*. Los depósitos aluviales formados por el río pueden, a su vez, ser excavados si el perfil del cauce se modifica suficientemente para que la erosión vuelva a actuar. Al producirse dicho fenómeno quedan abandonadas formaciones aluviales en las márgenes, a mayor altura que el cauce actual, y como indicación del antiguo cauce del río; a dichas formaciones se las denomina *terrazas*.

La erosión de los cursos de agua en las zonas montañosas produce el típico *modelado fluvial*, con los valles en forma de V con fondo angosto y laderas montañosas superiores suaves, totalmente distinto del modelado glaciar. La morfología pirenaica y alpina es un ejemplo de cada uno de ellos.

La acción del agua en la corteza no es únicamente superficial, sino que parte de la lluvia caída en una región penetra en el terreno, quedando retenida por el suelo, *agua de imbibición*, o bien filtrándose a través de las fisuras de las rocas hacia el interior, *agua de infiltración*. Esta última llega a profundidades variables, según la compacidad de las capas que atraviesa, y pasa a engrosar las *capas freáticas*, que, asentadas sobre capas impermeables, se exudan al exterior en forma de manantiales por los cortes naturales del terreno o van a alimentar pozos que, cuando emergen al exterior debido a la presión ejercida sobre la capa acuífera, se denominan *pozos artesianos*.

Al atravesar el *agua subterránea* las distintas capas del terreno ejerce una acción disolvente, siendo ésta tanto más importante cuanto más solubles sean los materiales que las integran. En los macizos calizos, el agua de lluvia saturada de CO_2 disuelve con facilidad el CO_3Ca, produciendo en superficie un relieve característico, la *morfología cárstica*, descarnado y casi sin vegetación, y, en profundidad, cavidades, las *simas* y *cuevas*, que pueden llegar a ser enormes. El agua saturada de CO_3Ca, cuando llega a una de estas cavidades que ella misma ha formado, por efecto de la baja presión de CO_2, precipita el carbonato en *estalactitas y estalagmitas*, que toman formas caprichosas, y algunas veces bellísimas, como las cuevas del Drac (Mallorca) y del Agua (Granada).

c) **El viento como agente geológico.** — Al igual que el agua, el viento ejerce simultáneamente una labor de transporte y otra erosiva, pero esta última es de naturaleza totalmente distinta, puesto que no es debida al viento en sí, sino a la acción de las partículas que transporta al chocar violentamente con los obstáculos naturales que se oponen a su paso. A este fenómeno se le denomina *corrosión*. Para que el viento pueda actuar es necesaria la existencia de gran cantidad de partículas que toleren el transporte, por su pequeño peso, y que estén sueltas y sin coherencia alguna.

La distribución de las partículas que el viento arrastra es un compromiso entre las fuerzas del viento y el peso de aquéllas, y será, por tanto, de tipo gravitatorio. Primero se depositarán las más grandes y de mayor densidad, y las últimas serán las más finas, que pululan por el aire casi encalmado y se acumulan en zonas donde el viento apenas sopla. Con los materiales arenosos se forman las *dunas*, y con los finos, en los que predominan los arcillosos y calcáreos, el *loes*.

La acción eólica se produce en toda su extensión en los *desiertos*, regiones de clima extremadamente seco que carecen ordinariamente de toda vegetación, o bien ésta se reduce a plantas xerófitas adaptadas a la extrema sequedad del ambiente. Estas zonas se creyó en principio que eran antiguos mares desecados, pero hoy en día queda fuera de toda duda que son consecuencia de unas condiciones climáticas extraordinariamente rigurosas, y que cualquier terreno puede transformarse en desierto si estas condiciones climáticas se producen.

Se distinguen dos tipos de desiertos: el de *piedra*, generalmente con relieve acusado y surcado por montañas, como el de Gobi y el centro del de Sahara, y el de *arena*, con aspecto de superficie ondulada por las dunas, y que se halla en gran parte del Sahara. En el primero las condiciones de vida son nulas, careciendo de vegetación en absoluto, mientras en el segundo la lluvia, que de vez en cuando cae, se concentra en zonas del subsuelo, emergiendo en manchas de vegetación de gran fertilidad, los *oasis*.

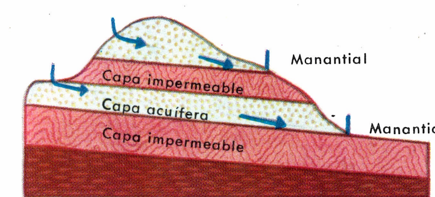
Atlas de GEOLOGIA

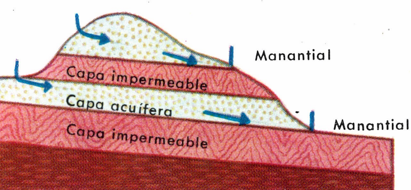
POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

GEODINAMICA EXTERNA

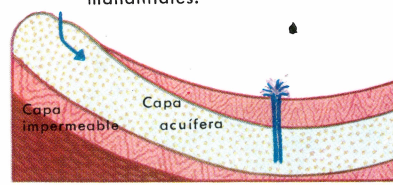


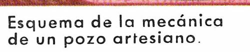
MORFOLOGIA CARSTICA Y DESERTICA



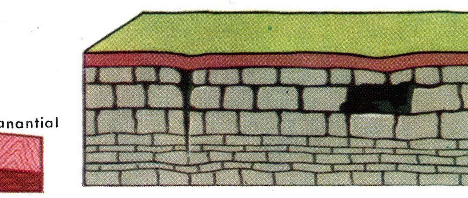
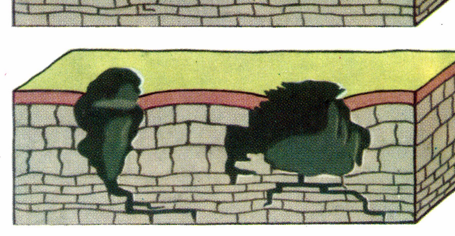


Esquema de la formación de manantiales.





Esquema de la mecánica de un pozo artesiano.

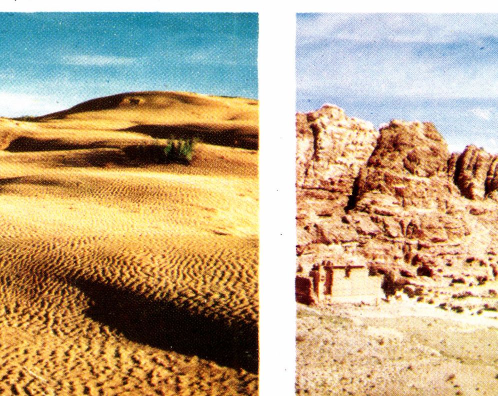
Proceso de la formación de simas y cavernas por el agua subterránea.



Interior de la caverna "del Agua". Granada (España).

Dirección del viento

Formación y avance de una duna.



Desierto de arena.



Desierto de piedra.

EROSION LITORAL

El contacto entre el mar y la tierra no es una línea, sino una superficie más o menos extensa integrada por tres zonas: a) la parte que, estando sumergida en la pleamar, queda emergida en la bajamar, y cuya extensión depende de la variación del nivel del agua con las mareas y de la pendiente de la costa; b) la zona inmediatamente superior al nivel mayor del mar, pero que viene afectada por él; y c) la región sumergida que sigue la línea de bajamar. Estas tres zonas, sometidas a la acción del mar, constituyen la *costa* o *litoral*.

El mar actúa sobre el litoral principalmente por medio de las *olas* y las *corrientes*. Las primeras son el resultado de un movimiento ondulatorio, no traslativo, de las partículas de agua, generalmente producido por el viento, que se propagan hasta llegar a la costa, donde se estrellan; las segundas son movimientos traslativos de masas de agua, producidos por causas muy diversas, siendo únicamente importantes en la erosión litoral las que se producen a lo largo de la costa, debido a que las olas no rompen perpendicularmente sobre ella, y las mareas.

La erosión litoral produce dos formas extremas, el *acantilado* y la *playa*, según la naturaleza de la roca y la actividad de los agentes erosivos. Estas dos formas se combinan entre sí, dando tipos distintos de costas.

La acción mecánica continua e intensa que las olas ejercen sobre la costa, al chocar con ella, erosiona su base, produciendo cavidades que, al crecer, provocan el derrumbamiento del techo y, a la larga, la formación de un desnivel, el *acantilado*. La labor erosiva continúa y el acantilado retrocede, formándose una superficie plana ligeramente inclinada hacia el mar, donde rompen las olas: es la denominada *plataforma de abrasión*. Al iniciarse la acción marina sobre una costa, la fuerza de erosión de las olas se debe únicamente a su energía como movimiento ondulatorio, y es pequeña. Esta fuerza erosiva aumenta al iniciarse la formación de la plataforma de abrasión, ya que las olas, al llegar a ella, ven frenado su movimiento en la parte inferior por rozamiento, y la superior se desplaza, produciéndose una traslación de la masa de agua y "rompiendo". La fuerza de choque de esta masa de agua que se desplaza es muy superior a la fuerza de la ola en sí, y la acción erosiva se intensifica. Pero, al retroceder el acantilado, llega un momento en que la plataforma de abrasión es suficientemente extensa para que la ola "rompa" totalmente sobre ella y llegue a la pared sin fuerza alguna; en este momento no existirá acción erosiva propiamente dicha sobre el acantilado, y éste se mantendrá indefinidamente.

La naturaleza de la roca tiene gran importancia sobre el tipo de acantilado que se forma. Si la costa está integrada por rocas blandas, como rocas arcillosas, se forman *acantilados por deslizamiento*, de pendiente suave junto al mar y cortada a pico a continuación; si las rocas son duras, pero erosionables, como las calizas, se forman *acantilados por derrumbamiento*, altos y escarpados en toda su extensión; si las rocas son duras, como los granitos, la acción del mar es muy débil, y los acantilados se forman debido a fallas u otros fenómenos tectónicos, constituyendo los *falsos acantilados*.

Los materiales arrancados por el oleaje y transportados por las corrientes se depositan en el litoral, ya sea en zonas de aguas tranquilas o bien retenidos por accidentes costeros, formando bancos detríticos de forma arqueada y perfil disimétrico, con el flanco abrupto hacia tierra y el flanco de pendiente suave, denominado *playa*, dirigido hacia el mar.

Algunas veces estos depósitos se forman a cierta distancia de la costa, y paralelamente a ella, dando lugar a *bancos* o *restingas*, que los derrubios continentales o marítimos unen a tierra, quedando una laguna cerrada con algún punto estrecho de salida al mar: son las *albuferas* También pueden depositarse entre islotes y la costa cercana, formando *tómbolos*.

TIPOS DE COSTA

Según la forma del relieve litoral, las costas se dividen en dos grupos: *costa brava*, con predominio de acantilados, y *costa baja*, de relieve poco acentuado, arenosas y con enormes playas.

El perfil de las costas bravas depende del trazado del relieve continental en su proximidad. Si las directrices del relieve corren normalmente al litoral, la costa presenta numerosos entrantes y salientes, dando lugar a las *costas transversales*, como el litoral griego del mar Egeo; por el contrario, si son paralelos a la línea de costa, el litoral es rectilíneo y muy escarpado: son las *costas longitudinales* o *dálmatas*, así denominadas por ser el litoral de Dalmacia un ejemplo típico de ellas.

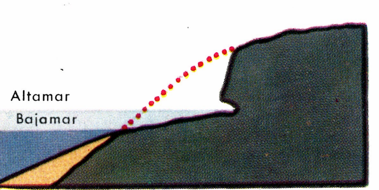
Atlas de GEOLOGIA

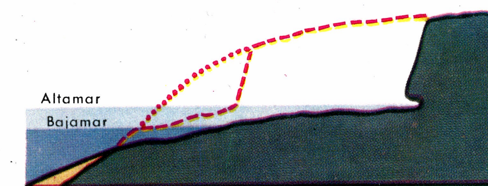
POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

Serie E Num. 5

GEODINAMICA EXTERNA

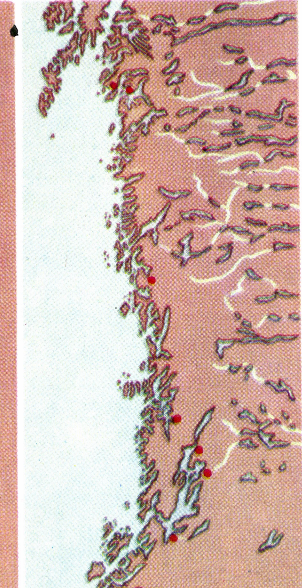
MORFOLOGIA MARINA



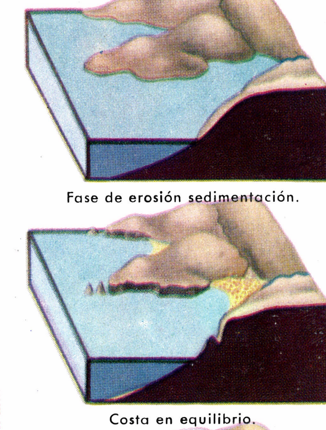


Dos fases sucesivas en la formación de un acantilado costero.





Costa madura (Occidente africano) y costa juvenil (Noroeste de Noruega).



Fase de erosión.

Fase de erosión sedimentación.



Costa en equilibrio.

Esquema de la evolución de un perfil costero.



Costa de perfil rectilíneo. Castelldefels (España).



Costa de perfil accidentado Lloret de Mar (España).

OCEANOGRAFIA

La existencia de los mares es la característica más notable de nuestro planeta. El agua, tan abundante en la superficie y zonas poco profundas de la corteza terrestre, es el elemento determinante de toda la dinámica, tanto mineral como biológica, de nuestro mundo. No puede existir vida animal ni vegetal sin agua, y las transformaciones que se producen en el mundo mineral ocurren por acción o en presencia del agua.

Los océanos cubren en la actualidad el 71 % de la superficie terrestre, con una profundidad media de 3.200 metros. En el hemisferio Norte los continentes delimitan tres grandes cuencas que los geógrafos llaman océanos: el *Pacífico*, que cubre casi la mitad del Globo, el *Atlántico* y el *Indico*. Uniendo a ellos el *Antártico*, que reúne las aguas que envuelven al polo Sur, y el *Artico*, que algunos autores consideran como parte del Atlántico, tenemos los cinco océanos de la Tierra.

RELIEVE SUBMARINO

El fondo de los mares ha representado un problema insoluble para el hombre hasta muy recientemente. Con anterioridad al año 1920, toda la investigación submarina se había realizado por sondeos mecánicos, con cuerdas y alambres, métodos que daban únicamente la profundidad por puntos y eran sumamente largos y erróneos. La aplicación de las ondas ultrasonoras para el sondeo acústico significó un paso decisivo en el conocimiento del relieve submarino, que actualmente ha dejado de ser problema con la aplicación de métodos modernos como el radar.

Las cartas submarinas de que se dispone hoy en día han permitido investigar de manera racional la naturaleza del fondo del mar y el tipo de sedimentos que se depositan en cada una de sus regiones. A la sorpresa de hallar un relieve submarino mucho más accidentado que el terrestre ha seguido el observar que el centro de los océanos no eran las cubetas de sedimentación que se suponían, sino que el eje de los actuales geosinclinales está situado en regiones cercanas a las masas continentales.

Al estudiar el fondo del mar, se hallan cuatro regiones con características claramente definidas: una plataforma poco profunda —150 a 180 metros como máximo— que bordea el continente, la *plataforma continental*, que representa el 9 % del total; a continuación, el fondo se inclina rápidamente hasta 2.000 metros, el *talud continental*, de fuerte pendiente y que ocupa alrededor del 7 % del total; a partir de él se inicia el verdadero *fondo oceánico*, amplia área —aproximadamente el 83 %— con profundidades medias de 2.000 a 6.200 metros, donde se hallan los accidentes del relieve submarino; finalmente, existen fosas profundas y estrechas, de paredes escarpadas, las *fosas marinas*, con profundidades que pueden llegar por debajo de los 10.000 metros.

Las plataformas continentales pueden ser consideradas como umbrales de los continentes, verdadera transición entre la tierra y el mar, con parte de ellas sumergidas o no, según el momento de las mareas. Durante los períodos geológicos han estado total o parcialmente emergidas y han quedado impresos en su superficie los efectos de la erosión terrestre. Los sedimentos que se depositan sobre ella están formados por arena y limo, con depósitos orgánicos, de origen terrestre en su mayoría; se les denomina *sedimentos neríticos*, y a esta zona de sedimentación, *zona nerítica*.

El talud continental presenta los mayores desniveles continuos que se conocen en la Tierra. No obstante ser poco sinuoso en conjunto, presenta profundos cortes, los *cañones submarinos*, de origen desconocido, y algunos de ellos tan extensos como la mayor red fluvial terrestre. Parecen de formación reciente, pero hasta hoy ha sido imposible hallar una explicación lógica a pesar de las hipótesis ideadas. Los sedimentos del talud, denominados *batiales*, y a la zona de sedimentación, *batial*, están formados por barros verdes y arenas con algunos cantos, y se depositan en el fondo de los cañones, raramente en sus flancos.

Los fondos oceánicos contienen los mayores y más sorprendentes accidentes del fondo marino. El relieve los divide en cuencas más o menos extensas, separadas por verdaderas cadenas de montañas submarinas, las *costillas* o *dorsales*, la más importante de las cuales es la Atlántica, que, corriendo de Norte a Sur, toma la forma de una S abierta, interrumpida cerca del Ecuador por una fosa transversal. La actividad volcánica submarina, extraordinariamente intensa en algunas zonas, ha producido volcanes que en algunos casos han emergido, dando lugar a islas, pero en otros han permanecido sumergidos, produciendo elevaciones bruscas de cima aguda, los *pitones*. Pero el más sorprendente fenómeno submarino son los *guyots*, especie de montañas de cima plana sumergidas a pro-



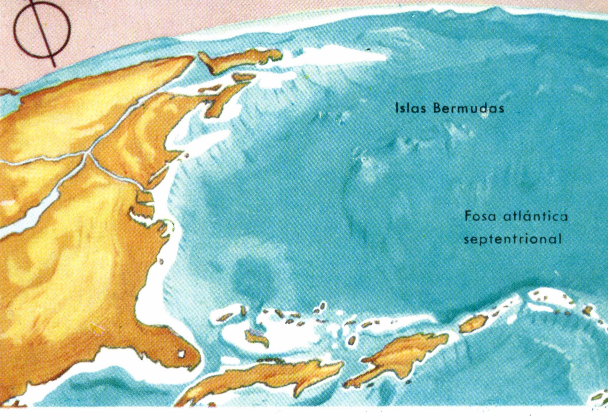
OCEANOGRAFIA

Océano Atlántico

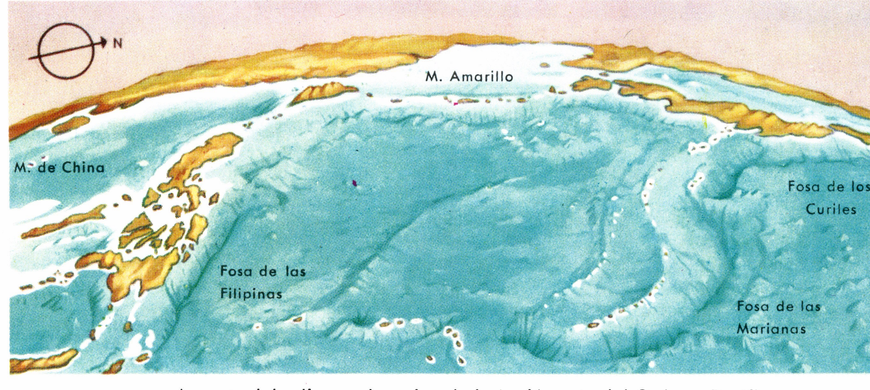




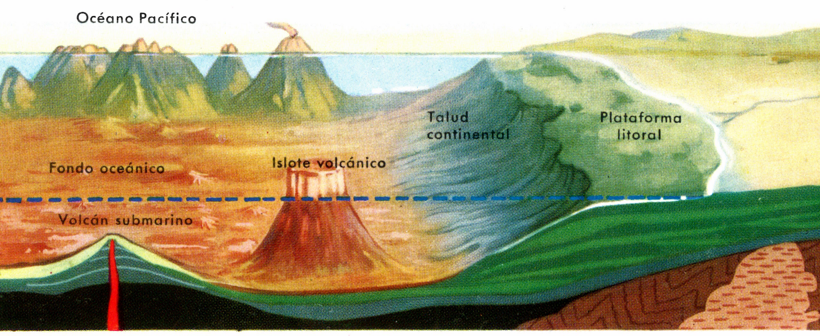
Océano Pacífico



Aspecto del relieve submarino de la parte Nordoccidental del Océano Atlántico.



Aspecto del relieve submarino de la región este del Océano Pacífico.



Esquema de los sedimentos y accidentes volcánicos y orogénicos de un fondo oceánico.

POR M.FONT-ALTABA Y A.SAN MIGUEL ARRIBAS





fundidades medias de 1.000 metros y que parecen ser volcanes emergidos durante cierto tiempo, que han sido erosionados, y posteriormente, por un fenómeno geológico brutal, se han sumergido con tal rapidez que no han permitido la edificación de edificios coralinos en su cima.

Los sedimentos depositados en los fondos oceánicos se denominan *abisales*, y la zona de sedimentación, *abisal*. Comprenden sedimentos finos, principalmente integrados por depósitos marinos —barros de globigerinas—, aunque pueden contener algunos depósitos de origen continental, y la arcilla roja que cubre la mitad de los fondos del Pacífico y una cuarta parte de los del Indico y del Atlántico, y que llega a distancias tan considerables de los continentes por la finura de su grano. Estos sedimentos se depositan muy lentamente, aproximadamente entre 0,4 y 1,3 cm. por mil años, y no pueden ser los responsables de las enormes potencias de sedimentos que se encuentran en los Alpes, Andes, etc. El fondo oceánico no es geosinclinal.

Las fosas marinas se hallan en los bordes de los océanos o bien junto a cadenas de islas volcánicas, raramente en su centro. La sedimentación en ellas es importante, principalmente por su posición, pudiendo considerárselas como lugares de succión del material siálico que va al mar, con intensa acumulación del mismo. La acumulación sedimentaria de este tipo puede ocasionar, como ocurre a lo largo de Java, una elevación isostática de la fosa, produciendo un geosinclinal en evolución que dará lugar a una cordillera montañosa, tal como se ha indicado en Geodinámica interna.

DINAMICA MARINA

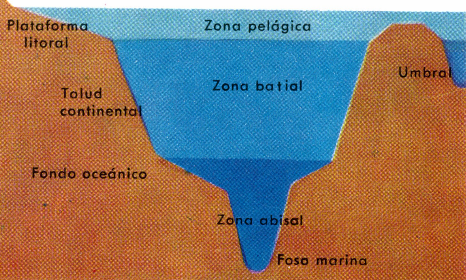
Los océanos no son masas de agua en reposo, sino que, por el contrario, están en continuo movimiento, ofreciendo una dinámica compleja en la que sobresalen las *mareas*, de origen cósmico o planetario, las *olas*, resultantes del contacto del medio gaseoso (atmósfera) y del líquido (mares), y las *corrientes*, debidas a modificaciones físico-químicas del agua del mar por acción de la radiación solar.

Las *mareas* son desplazamientos de la masa acuosa oceánica por efecto de la atracción lunar y solar, y que se traduce en elevaciones y descensos verticales del nivel del mar sobre las costas, que se producen diariamente. Esta acción imprime deformaciones periódicas a la superficie del mar de naturaleza ondulatoria, que al no amortiguarse, por repetirse diariamente la acción perturbadora, se interfieren, dando resultantes complicadas que hacen que el desnivel entre la pleamar —máximo nivel del agua— y la bajamar —mínimo nivel— sea distinto en diferentes costas del mismo océano.

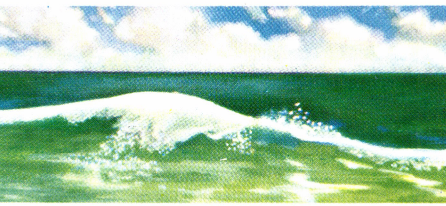
Las *olas*, cuya dinámica y efectos ya han sido indicados, son un fenómeno universal que se produce incluso cuando existe calma atmosférica absoluta. La *ola simple* es una ondulación libre, nacida de una onda estacionaria que provoca la oscilación vertical de las partículas de agua con un desplazamiento horizontal insignificante, y parece producida por el paso de depresiones barométricas que determinan, sobre amplias superficies del océano, una succión que produce el movimiento vibratorio. La *ola forzada* es la consecuencia directa del roce del viento: la deformación progresiva del movimiento por la traslación horizontal sobre la cresta produce la coronación de la ola de espuma blanca; la fuerza y la velocidad de desplazamiento de este tipo de olas dependen directamente de la fuerza del viento. La ola forzada se transforma en ola simple cuando llega a una zona donde no sopla el viento, continuando el movimiento a pesar de ella, dando lo que los marinos llaman "mar de fondo" y que al chocar contra la costa produce la resaca.

Las *corrientes marinas* son grandes desplazamientos de agua que existen en la superficie de los océanos y que pueden compararse a verdaderos ríos dentro del mar. La circulación general oceánica puede esquematizarse por dos poderosas corrientes, una al norte y otra al sur de cada océano, permanentemente dirigidas de Este a Oeste, y, entre ellas, aguas dirigidas por una contracorriente compensadora hacia el lugar de origen de las dos primeras. Las corrientes Nord-ecuatorial y Sud-ecuatorial, al chocar al Oeste con los continentes, sufren una desviación, que la rotación terrestre ya tendía a imprimirles, hacia la derecha la primera y hacia la izquierda la segunda; esta desviación las curva en circuitos cerrados que llevan parte de las aguas a la zona de partida, mientras que, por otra parte, se difunden ampliamente hacia las latitudes altas. Este mecanismo simple se completa por la producción en las áreas polares de corrientes que descienden hacia las latitudes bajas y compensan las aguas difundidas en las márgenes externas de estos circuitos; estas corrientes polares, también desviadas por la rotación terrestre, se localizan a lo largo de las costas occidentales de los océanos.

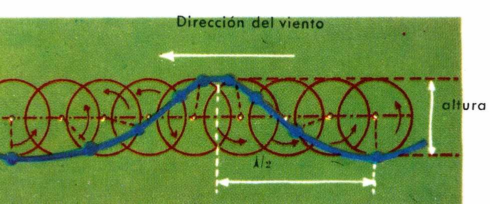
OCEANOGRAFIA



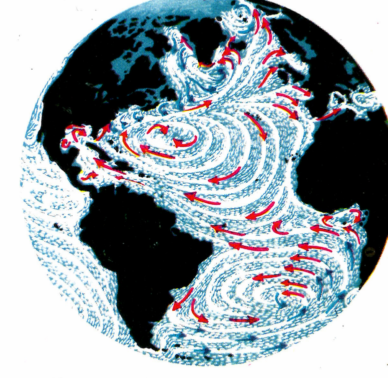
Perfil batimétrico y regiones submarinas.



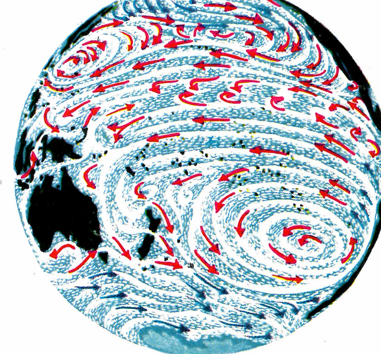
Aspecto de una ola.



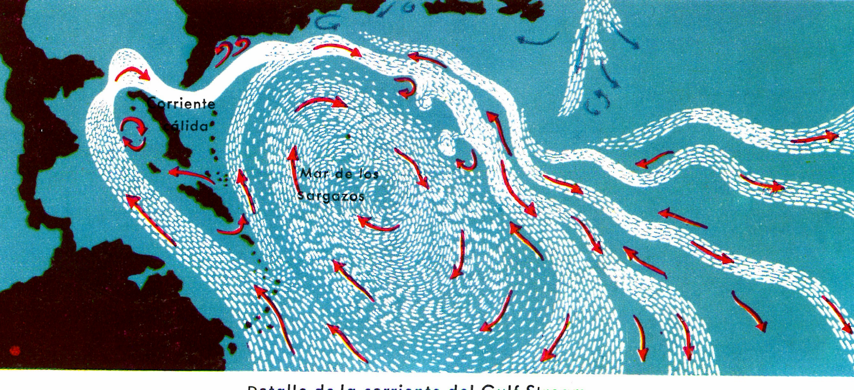
Formación del perfil de una ola.



Esquema de las corrientes marinas en el Océano Atlántico.



Esquema de las corrientes marinas en el Océano Pacífico.



Detalle de la corriente del Gulf-Stream.

METEOROLOGIA

ESTRUCTURA DE LA ATMOSFERA

La Tierra está rodeada de un manto gaseoso denominado *atmósfera*, que la protege de las radiaciones solares y cósmicas, disminuyendo su intensidad o absorbiéndolas por completo, y que contiene los elementos gaseosos indispensables para la existencia de la vida, el *oxígeno* y el *anhídrido carbónico*.

La composición química media de la atmósfera es: 78 % de nitrógeno, 21 % de oxígeno, 0,93 % de argón, 0,03 % de anhídrido carbónico, vapor de agua y una serie de gases en pequeñísima proporción —helio, metano, óxido nitroso— conjuntamente con materias sólidas en granos muy finos procedentes de la litosfera.

La composición del aire es prácticamente constante desde el nivel del mar hasta las grandes alturas, pero su densidad disminuye rápidamente con la altura. A los 10 km. la respiración se hace difícil por falta de presión de oxígeno y a los 20 km. no existe cantidad suficiente de este gas para que pueda arder una vela. A medida que se asciende, se enrarece la atmósfera y cada vez existen menos moléculas gaseosas, hasta que en un punto indeterminado las partículas de gas se desparraman hacia el espacio exterior con la velocidad producida por su último choque. Esta zona de desintegración de la atmósfera empieza a 385 km. para unos y a 950 para otros, situando su final a 650 km. los primeros y a 9.600 los segundos.

Hasta una altura de 60 km. el aire se comporta de la misma manera que en las capas vecinas del suelo, pero, a partir de esta distancia, su enrarecimiento hace que el comportamiento frente a los fenómenos físicos venga regido por las leyes del vacío; esto divide a la atmósfera en dos grandes regiones: la *atmósfera meteorológica* y la *ionosfera*. La primera, a su vez, está integrada por la zona más próxima a la Tierra, de gran turbulencia, donde se producen casi todos los fenómenos meteorológicos, la *troposfera*, limitada a los 12 km. aproximadamente por una zona de calma absoluta, la *tropopausa*, y por encima de la cual, hasta los 60-70 km., tenemos la *estratosfera*.

La temperatura de esta región ofrece irregularidades sorprendentes. En la troposfera disminuye 6° C por km. aproximadamente, hasta llegar a la tropopausa, en donde se localizan capas de aire muy frías (210° K (*), para seguidamente aumentar hasta los 50 km., donde se pueden alcanzar temperaturas entre 275° y 375° K, siendo las medias de 325° K; es la denominada *capa caliente;* a continuación desciende hasta llegar, a los 80 km. de altura, a las temperaturas atmosféricas más bajas (alrededor de 190° K), ya dentro de la ionosfera. En la ionosfera la temperatura aumenta paulatinamente, siendo de 2.500° K a los 400 km.

A pesar de que la composición del aire es prácticamente constante, existen pequeños cambios que, sin afectar al total medio, son extraordinariamente importantes por los fenómenos físicos y las consecuencias de los mismos. Entre los 15 y los 50 km. de altura, la radiación ultravioleta del Sol activa las moléculas de oxígeno, que reaccionan produciendo ozono en pequeñísimas cantidades, 0,001 %, pero que absorbe casi todas las radiaciones ultravioletas, dejando únicamente pasar las suficientes para tostar la piel humana y matar las bacterias. Esta absorción, que se produciría en su máxima intensidad a los 50 km., sería la responsable del aumento de temperatura del aire de esta zona. A partir de los 60-80 km., las moléculas gaseosas, por acción de las radiaciones solares y cósmicas, se descomponen, dejando átomos libres, que se ionizan en parte.

DINAMICA ATMOSFERICA

El manto gaseoso que rodea a la Tierra no está formado por capas concéntricas de aire de distinta densidad y en estado de reposo, sino que es la parte del planeta en que mayor efecto tienen las condiciones térmicas producidas por las radiaciones solares. El aire, como conjunto de gases que es, tiene las máximas condiciones de movilidad, no quedando rígidamente unido al movimiento de rotación terrestre, sino que, influido por él, presenta movimientos propios resultantes de la convergencia de una serie de factores. Los fenómenos atmosféricos que se producen en la tro-

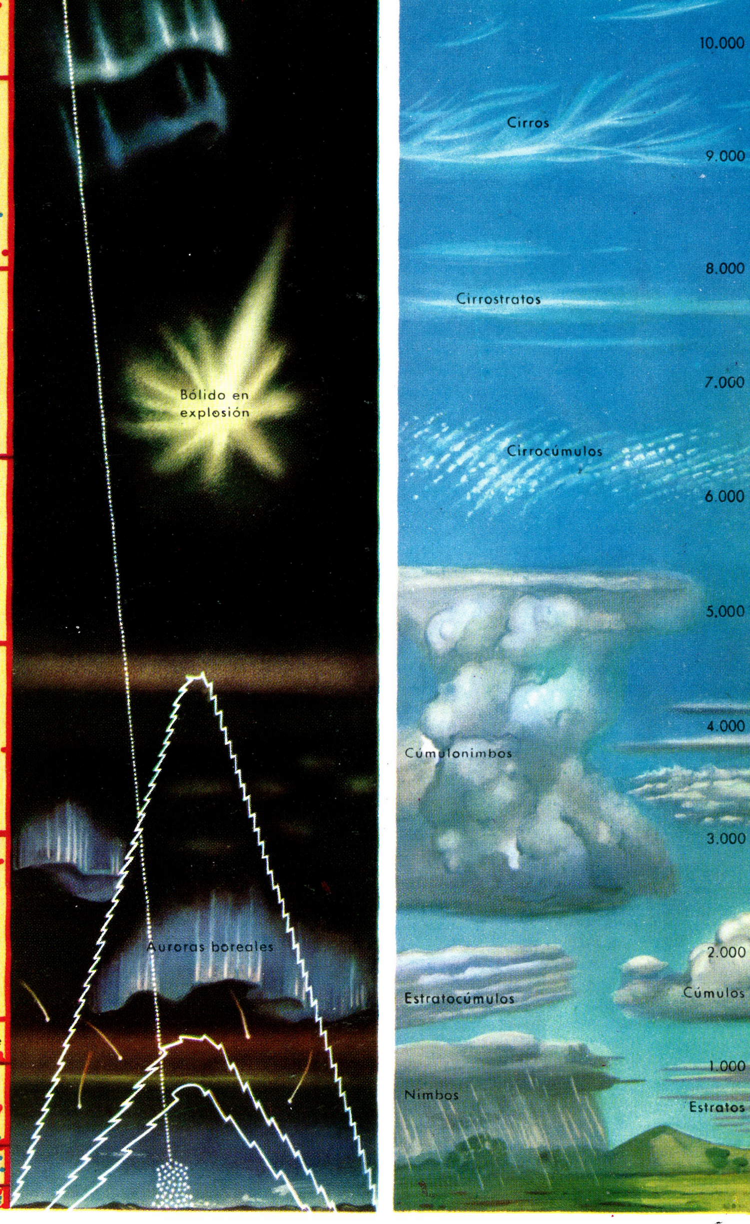
(*) Los grados Kelvin (K) expresan la temperatura absoluta y equivalen a los grados centígrados sumándoles 273, temperatura absoluta de la congelación del agua. Así, 37° C equivalen a 310° K y —40° C, a 233° K

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

METEOROLOGIA

ESTRUCTURA Y FORMACIONES ATMOSFERICAS



En la figura de la izquierda, las diversas capas atmosféricas y sus principales características, escalas de temperaturas, densidades y alturas. En la de la derecha detalle de la tropósfera.

posfera y que afectan directamente a la superficie del planeta se denominan *fenómenos meteorológicos.*

Las causas fundamentales de la dinámica atmosférica son el distinto calentamiento del aire y la rotación terrestre, que producen la circulación de grandes masas de aire, originando los *vientos,* y la mezcla de masas frías con otras calientes saturadas de vapor de agua, que produce las *nubes* y, en último término, la *lluvia.* Finalmente, distribuyen masas de aire caliente y frío a lo largo de la superficie terrestre, con el consiguiente movimiento de nubes y producción de precipitaciones, formando el *clima* de las distintas zonas de la Tierra.

Si sólo actuara la primera de las dos causas enunciadas, el aire se calentaría en las proximidades del Ecuador, tendiendo a ascender, y se enfriaría en las regiones polares, tendiendo a descender. Por efecto de la diferencia de densidades entre ambos se produciría un desplazamiento de aire cálido, en las capas altas de la troposfera, del Ecuador a los Polos, y uno de aire frío, en las capas bajas, del Polo al Ecuador.

Al actuar la rotación terrestre, la circulación anterior sufre una desviación hacia el Este, de manera que las masas de aire que del Polo se dirigen hacia el Ecuador se cierran sobre sí mismas, formando el *remolino circumpolar,* y lo mismo les ocurre a las masas de aire cálido que parten del Ecuador. Esto da origen a una zona de presiones altas en las proximidades del círculo polar y a otra de presiones bajas cercana a los trópicos.

Una tercera causa influye en la circulación atmosférica: el distinto calentamiento de los continentes y de los océanos. Este fenómeno produce una serie de áreas de alta y baja presión que, actuando sobre el esquema anterior, forma las tres circulaciones principales en la superficie del planeta: los *alisios del sudeste,* la *corriente del oeste* y la *corriente polar del este.* Es también el determinante de las *brisas* de la costa y de los *monzones,* estos últimos soplando seis meses de la tierra al mar y otros seis del mar a la tierra.

Si imaginamos la troposfera como una distribución de densidades dentro de un fluido, se nos formarán unos gradientes de presión que, partiendo de zonas de gran densidad, irán a parar a zonas de menor densidad. La circulación general atmosférica, cuya visión esquematizada se ha indicado, crea áreas de altas presiones, de mayor densidad, donde se podría decir que el aire se ha acumulado, los *anticiclones* o *áreas anticiclonales,* y otras de baja presión, de densidad menor, en las que parece que exista menos aire que en las anteriores, los *ciclones* o *áreas ciclonales.* Los gradientes de presión determinarán el movimiento del aire, que se efectuará en espiral, marchando del área de presión alta, donde reinará buen tiempo, hacia el área de baja presión, adonde llegará produciendo tempestades, precipitaciones y, en general, mal tiempo.

La aparición de áreas ciclonales y anticiclonales es consecuencia de los factores que se han mencionado, pero es sumamente útil utilizar estas expresiones en los mapas meteorológicos, ya que, una vez situadas, se pueden precisar las direcciones de los vientos en zonas determinadas, y sus movimientos, las variaciones climáticas diarias. Estas áreas quedan perfectamente trazadas midiendo la presión atmosférica en una serie de puntos de la superficie terrestre, medidas sencillas de efectuar con los barómetros, y trazando las líneas isobáricas que unen puntos de igual presión. Las áreas ciclonales y anticiclonales quedan en el centro de una serie de curvas concéntricas que disminuyen o aumentan su valor hacia el centro.

Las *nubes* se forman por condensación del vapor de agua atmosférico al enfriarse, ya sea en forma de gotas de agua del orden de 0,01 mm. de diámetro, ya sea en cristalitos de hielo. Para que ello ocurra es necesaria la presencia de polvillos higroscópicos que actúen como núcleos de condensación; estos polvillos son abundantes hasta los 4 km. de altura, desapareciendo a mayor altitud. Esto motiva la inexistencia de nubes en la estratosfera.

Las nubes de precipitación o tormentosas se forman cuando una masa de aire cálido saturado de vapor de agua avanza en la atmósfera, constituyendo un *frente cálido,* y halla a su paso una masa de aire frío; asimismo, se forma una capa alta y densa de nubes cuando una masa de aire frío avanza, *frente frío,* sobre una zona de aire templado y saturado de humedad, introduciéndose por su parte inferior.

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

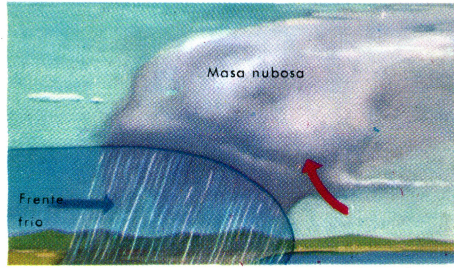


METEOROLOGIA

DINAMICA ATMOSFERICA



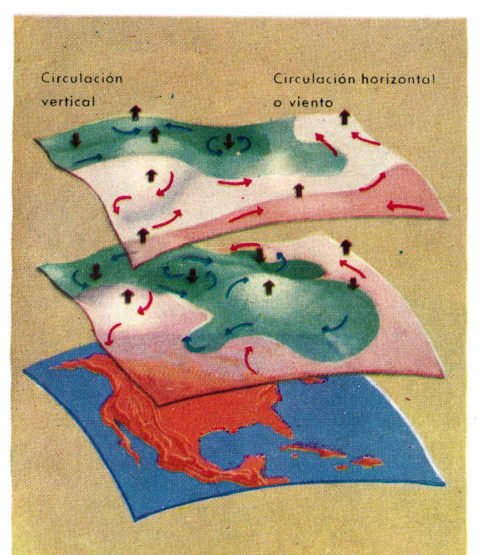
Condensación del vapor acuoso de la atmóstera al contacto de una masa de aire cálido (frente cálido) con una masa de aire frío, produciendo la consiguiente formación de nubes y precipitaciones.



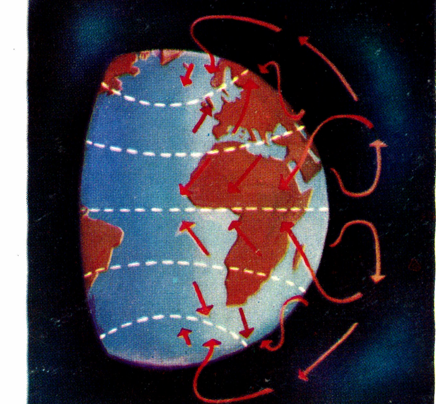
Precipitación atmosférica por contacto de un frente frío con una masa de aire caliente.



Esquema de la circulación general en la atmósfera prescindiendo de los efectos de rotación terrestre.



Circulación del aire a distintas alturas. En rojo las masas de aire cálido; en azul las de aire frío.



Circulación atmosférica bajo los efectos de la rotación terrestre y de la distribu-

GEOLOGIA DEL CARBON

Existen tres categorías de combustibles minerales: *sólidos,* los carbones; *líquidos,* los petróleos, y *gaseosos,* el gas natural.

Los *carbones* se presentan intercalados entre las formaciones sedimentarias, formando grandes capas o masas estratiformes, procedentes de la transformación de restos vegetales que quedaron enterrados, librándose así de su completa descomposición. El carbono y el hidrógeno son los dos elementos principales que entran en la composición de estos carburos de hidrógeno sólidos, pobres en O y H. Contienen también N, H_2O y de 2 a 15 % de materias extrañas.

Los carbones constituyen una serie de términos enlazados que son la *turba, lignito, hulla* y *antracita.* Sus diferencias se refieren esencialmente al grado de transformación sufrido y a su porcentaje de carbono.

La *turba* es el carbón menos transformado y está constituida por una sustancia negruzca, de aspecto esponjoso, conteniendo abundantes restos de vegetales no carbonificados. Se forma actualmente en las turberas o zonas pantanosas, donde se desarrollan en gran cantidad musgos y plantas higrófilas, formando verdaderas praderas flotantes.

El *lignito* es más sólido que la turba, de color pardo o negro, conservando la estructura leñosa. Una variedad muy compacta, negra y brillante es el azabache, que se usa en joyería. En general los lignitos son de edad secundaria y terciaria.

La *hulla* es negra y compacta, brillante o mate, no distinguiéndose a simple vista ningún vestigio de su origen vegetal. Generalmente es de edad primaria, aunque pueden darse hullas secundarias y terciarias.

La *antracita* o carbón de piedra es dura, compacta, de color negro brillante y fractura concoidea. Es de edad primaria.

Hullas y antracitas son las más enriquecidas en carbono y elementos volátiles, así como las de mayor poder calorífico. Lignitos y turba son pobres en carbono y con escaso poder calorífico.

El carbono tiene un poder calorífico de 7.860 calorías, y el hidrógeno puro, de 34.190 calorías; luego, cuanto mayor sea la cantidad de H de un combustible, mejor será su calidad. El alto contenido en H de los combustibles líquidos y gaseosos explica su poder calorífico, superior al de los carbones.

El origen del carbón es claramente vegetal, habiéndose formado a expensas de enormes acumulaciones de vegetales que se desarrollaron en cantidad prodigiosa en ciertas regiones de la Tierra, formando espesísimas selvas en el período carbonífero de la era Primaria. La atmósfera, muy rica en CO_2 en aquella época, permitió una intensificación de la función clorofílica y el crecimiento extraordinario de los vegetales en un clima particularmente cálido y húmedo. Estas enormes selvas carboníferas llegaron a quedar cubiertas por sedimentos, en el transcurso de los tiempos geológicos, sufriendo una transformación al abrigo del aire bajo la influencia de ciertas bacterias

El proceso químico de la carbonificación se reduce, en síntesis, a una previa maceración de los vegetales bajo el agua de las selvas pantanosas, seguida de una fermentación anaerobia que provoca la pérdida de H, O y celulosa, así como de CH_4 y CO_2 y el subsiguiente enriquecimiento en carbono. Esta fermentación llega un momento en que se detiene por la producción de ácidos húmicos que crean un medio antiséptico. El grado de carbonificación no depende, pues, de la edad, sino del tiempo de aparición de esta fase antiséptica. El proceso de la carbonificación conduce a la formación de una sustancia de aspecto gelatinoso, rica en ácidos húmicos, la *carbo-humina,* que constituye la sustancia fundamental del carbón.

El estudio de los carbones al microscopio de reflexión permite reconocer esta sustancia fundamental, así como una serie de pequeñísimos restos vegetales, más o menos reconocibles, a los que se denomina *cuerpos figurados.* Entre estos cuerpos figurados se han podido identificar también bacterias fósiles, que pudieron ser los agentes de la carbonificación.

Atendiendo a sus condiciones geológicas de yacimiento los carbones se dividen en *autóctonos* y *alóctonos.*

En las capas de carbón *autóctonas* es posible reconocer a veces la primitiva disposición vertical de los árboles, o las raíces de los mismos en el muro del yacimiento. Los sucesivos hundimientos de selvas dieron lugar a las repetidas capas hullíferas que se observan, por ejemplo, en la cuenca hullera del norte de Francia.

Pero en otras ocasiones las capas de carbón no presentan estas características, sino la de aluviones vegetales arrastrados y acumulados por corrientes de agua, a la manera que hoy vemos ocurre en los deltas de los grandes ríos. A estos carbones se les denominan *alóctonos.*

Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS



COMBUSTIBLES

GEOLOGIA DEL CARBON



Reproducción de una selva carbonífera de la era primaria.



Antracita de Guardo (Palencia)



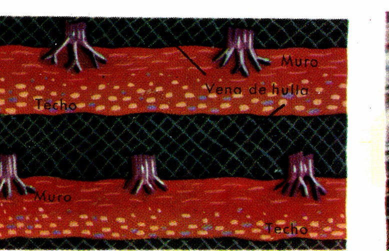
Lignito de Mequinenza (Zaragoza).



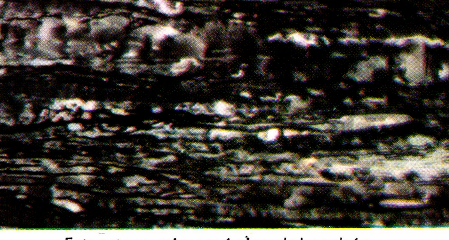
Formación de una cuenca hullera.

%	C	H	O	N
Antracita	94-96	3	2-3	Trazas
Hulla	80-90	4-6	6-14	1
Lignito	66-70	5	25-39	1
Turba	55-60	6	34-39	1
Leño	48	6	43	1

Composición química media de los carbones.



Esquema de la estructura de una vena de hulla.



Estructura microscópica del carbón.

GEOLOGIA DEL PETROLEO

El petróleo constituye, con la hulla, y, modernamente, con el uranio, una de las reservas esenciales de energía de nuestro planeta.

Está constituido por una mezcla natural, fluida y aceitosa de hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos, dando un líquido de color pardo-negruzco o amarillento, más ligero que el agua, y del cual, por destilación fraccionada, se obtienen una gran variedad de productos industriales, tales como aceites ligeros, aceites pesados, gasolina, vaselina, parafina, alcoholes, gases combustibles, asfaltos, pinturas, resinas, caucho, plásticos, cosméticos, productos farmacéuticos, etc.

La cuestión más importante que se planteó a los geólogos, con el descubrimiento del petróleo fue la de su origen y la de su acumulación en cantidades tan fabulosas. Hoy está universalmente admitido el origen orgánico del petróleo, como consecuencia de la transformación de grandes cantidades de restos de animales y vegetales.

Estas grandes acumulaciones de materia orgánica sólo pueden producirse en el medio marino, cuya densidad de vida sobrepasa a cuanto pueda imaginarse. Modernamente se admite que la materia prima del petróleo la proporciona el plancton marino, es decir, la microfauna y microflora que, en condiciones topográficas especiales, se acumula en cantidades enormes en el fondo de los sedimentos oceánicos.

La teoría lagunar o de la barra explica cómo en las lagunas del tipo de albufera o en bahías parcialmente cerradas por una barra se produce una entrada constante de agua oceánica, oxigenada y muy rica en plancton marino. Todos estos seres marinos, al pasar a unas aguas de mayor salinidad, mueren, produciéndose así una a modo de lluvia continua de restos de seres que se depositan en el fondo de la bahía, conjuntamente con los barros y arcillas, dando lugar a inmensas concentraciones de materia orgánica. Confirma esta tesis el hecho de que los petróleos van asociados a aguas saladas y bromo-ioduradas de origen marino o lagunar.

La putrefacción de esta materia orgánica, enterrada en los barros del fondo marino, da lugar a lo que se denomina *sapropel* o materia prima del petróleo, que puede extraerse hoy de muchos fondos marinos. La acción de bacterias anaerobias provoca la fermentación del sapropel; las sales disueltas en el agua marina favorecen la saponificación de las grasas del sapropel, formándose glicerina y ácidos grasos saturados y no saturados. La polimerización de estos ácidos grasos produce finalmente los hidrocarburos.

Este complejo proceso bioquímico se ve favorecido por la acción de la temperatura y de la presión, que va aumentando progresivamente con la sucesiva deposición de nuevas capas de sedimentos.

Las condiciones de yacimiento de los petróleos vienen determinadas por la naturaleza y la estructura tectónica de las rocas que las contienen. A los sedimentos generalmente arcillosos que acumularon el sapropel se les llama *rocas madre*. Pero generalmente el petróleo tiende a escapar de las rocas madre y pasa a empapar las rocas porosas de sus inmediaciones, tales como areniscos, arcosas, etc., acumulándose allí en forma de lentejones, en los que de abajo a arriba se disponen el agua, petróleo y gases.

Para que el yacimiento pueda conservarse es indispensable que esté protegido por capas arcillosas impermeables que impidan su oxidación y destrucción.

El tipo clásico de yacimiento petrolífero es el de anticlinal, situándose el petróleo en las charnelas anticlinales de las capas porosas o capas almacén.

La prospección del petróleo es compleja, costosísima y lenta, utilizándose métodos geológicos y geofísicos que se complementan y tienden a asegurar el máximo de probabilidades de éxito en los sondeos. Hoy, gracias al progreso técnico y científico, del 20 al 25 % de los sondeos son positivos, mientras que hace unos 10 años lo eran tan sólo el 5 %. El perfeccionamiento técnico permite sondeos de hasta 7.000 m. de profundidad, a razón de unas 6.000 pesetas por metro de sondeo, e incluso permite la prospección petrolífera submarina.

La prospección en las plataformas continentales submarinas presenta un gran porvenir, ya que se calcula que en ellas puede encontrarse el doble de petróleo que en todos los continentes reunidos.

Las principales zonas petrolíferas del mundo son:

La zona del Caribe (Venezuela, Colombia y parte de EE. UU. inmediata al Golfo de Méjico y a Méjico oriental; la zona de la costa occidental y continental media de los EE. UU.).

La zona del Oriente Medio, la zona de las Indias Orientales y la zona de Rusia y del Sahara Africano, que ofrecen muy buenas perspectivas para el futuro.

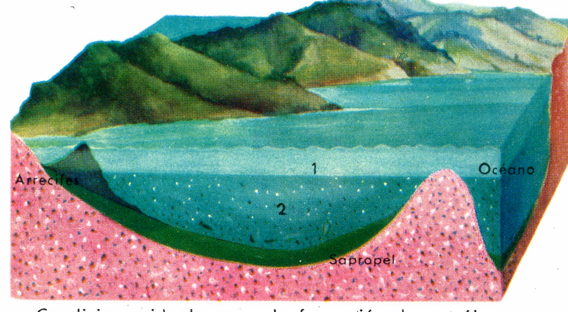
Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

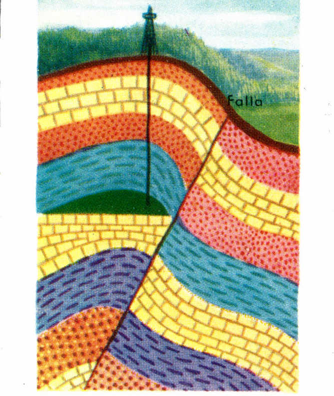
COMBUSTIBLES



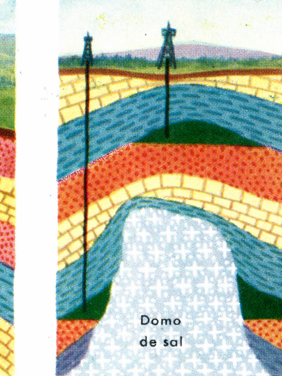
GEOLOGIA DEL PETROLEO



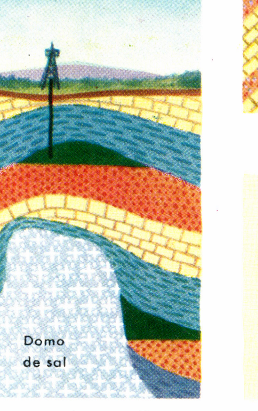
Condiciones ideales para la formación de petróleo. 1.- Aguas oxigenadas de salinidad normal. 2.- Aguas sin oxígeno y ricas en sal.



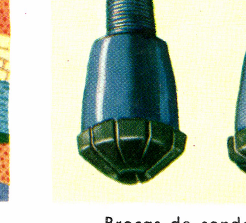
Yacimiento en falla.



Yacimiento en domo salino.



Tipo clásico de yacimiento petrolífero en anticlinal.



Brocas de sondeo.



Distribución de las zonas petrolíferas en el mundo, indicadas en color verde obscuro

Esquema de máquina de sondeo.

GEOLOGIA HISTORICA

Las teorías que intentan explicar la formación de la Tierra parecen coincidir en que el planeta tuvo que pasar por una fase fluida a partir de la cual se consolidaron los continentes, ofreciendo la superficie terrestre durante este período una visión que escapa a la imaginación humana. Todo cuanto se afirme sobre la constitución física de los elementos que la integraron pertenece al campo de la especulación, y el misterio que encierra la formación del sial y su separación del sima es problema que podrá solucionarse más con la exploración del cosmos que con la observación terrestre, ya que no es probable que quede resto alguno de las primeras rocas que integraron la corteza terrestre.

Desde el momento en que aparece el agua como líquido en la Tierra, podemos considerar que existe una corteza, y que sobre ella empiezan a actuar una serie de fenómenos que forman un ciclo de tres fases esenciales: erosión - sedimentación - orogénesis. Este ciclo se repetirá a escala muy diferente y en períodos dispares a lo largo de la evolución del planeta, quedando marcado su paso sobre las rocas; toda la serie de transformaciones que la corteza experimenta forman la historia de la Tierra, que estudia la *Geología histórica*.

El primer problema con que se enfrenta la Geología histórica es la datación de las distintas rocas que halla en la corteza terrestre y el poder situarlas en sucesión cronológica. Los depósitos sedimentarios están formados por materiales característicos de épocas y zonas de sedimentación, *caracteres litológicos*, y la mayor parte de estas formaciones contienen restos vegetales o animales, *fósiles*, que la Paleontología ha situado en la escala evolutiva del mundo biológico, los *caracteres paleontológicos*. Es mediante este conjunto de caracteres litológicos y paleontológicos, denominados *facies*, como se pueden establecer las series estratigráficas. Cuando las rocas no contienen restos de elementos vivos debe recurrirse a métodos físicos para establecer su cronología, tales como los del plomo radiactivo o de los productos de desintegración del uranio.

La *Estratigrafía* es la ciencia geológica que estudia los estratos, su edad, la superposición original y las transformaciones, deformaciones y destrucciones que han sufrido, siendo su propósito final la reconstrucción del paisaje en la superficie de la Tierra en cada momento y en todo lugar. La Geología histórica se funda esencialmente en ella.

ERA PRECAMBRICA, ARCAICA O CRIPTOZOICA

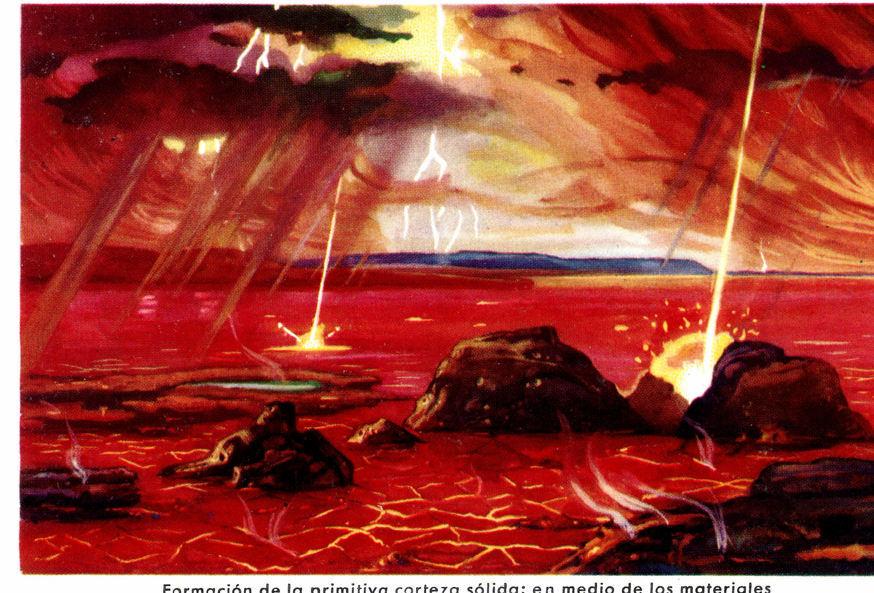
La era Precámbrica comprende el período de la historia de la Tierra que precede a las primeras rocas que contienen organismos suficientemente bien conservados para que pueda ser descrita su estructura. Su límite superior se fija en la base de los estratos en los que se hallan los fósiles más antiguos, o sea, en la base del Infracámbrico, primer sistema de la era Paleozoica, cuya edad se eleva a 600 millones de años.

Aun cuando los terrenos precámbricos carecen de fósiles, es evidente que, por lo menos en parte de ellos, existieron seres vivos, como lo atestiguan las formaciones calcáreas y carbonosas, sólo atribuibles a la actividad de organismos, y al hecho de que los primeros seres conocidos de la era Primaria, los trilobites, presentan una organización elevada. Se puede afirmar que la aparición de la vida se produjo durante esta era, a pesar de que se ignore la forma en que se inició.

Si se cifra entre 2.500 y 3.000 millones de años la edad de las formaciones más antiguas, se observa que la era Arcaica abarca un período casi cinco veces más extenso que el que forman las restantes eras y, no obstante, bien poco se conoce de ella. El metamorfismo ha desfigurado casi totalmente los terrenos precámbricos, y sólo pequeños indicios de plegamientos y de discordancias y la existencia de granitos intrusivos quedan para poder interpretar los fenómenos ocurridos en aquellos tiempos.

Se han podido reconocer tres ciclos orogénicos, pero los conocimientos que de ellos se tienen son tan imprecisos que, a medida que avance su estudio, el esquema actual sufrirá rudas modificaciones. La orogenia más antigua se sitúa a mil millones de años y afectó a Norteamérica, Groenlandia y Escocia, denominándose *laurentiana*. A partir de ella se sitúa el *sistema algonquino*, período que comprende los terrenos más elevados del precámbrico y en los que se han hallado indicios fósiles; dentro de él se produce la orogenia *huroniana*, situada a 800 millones de años y que abarcó terrenos situados desde el lago Hurón en Norteamérica hasta Finlandia pasando por Escocia y Escandinavia. Finalmente, la última orogenia precámbrica se sitúa en el límite de la era, denominándosela *animikiana*.

ERA ARCAICA



Formación de la primitiva corteza sólida; en medio de los materiales fundidos flotan los primeros bloques de silicatos.



Cuando la temperatura de la corteza terrestre ya consolidada descendió por debajo de los 100.°, el agua contenida en la atmósfera, en estado de vapor, se precipitó en forma de grandes diluvios.

ERA PRIMARIA O PALEOZOICA

En el sistema *Infracámbrico*, primer período de la era Primaria, las antiguas plataformas precámbricas, erosionadas y reducidas a peniplanicies, se cubren de formaciones detríticas continentales, mientras que en las regiones marinas se acumulan sedimentos que contienen los fósiles identificables más antiguos (radiolarios, braquiópodos inarticulados, etcétera). Hacia el final de este período hay aportes de tipo glaciar que indican un enfriamiento general del planeta.

El sistema *Cámbrico* se inicia por una vasta transgresión marina sobre las áreas continentales; esto hace que una rica fauna marina litoral invada las plataformas inundadas, caracterizando las series sedimentarias cámbricas. Esta fauna está formada principalmente por *trilobites*, acompañados de organismos de esqueleto calizo que edifican arrecifes (Archaeocyathus), braquiópodos, lamelibranquios y gasterópodos muy primitivos; a excepción de los vertebrados, todas las clases de animales marinos actuales están representados en este período.

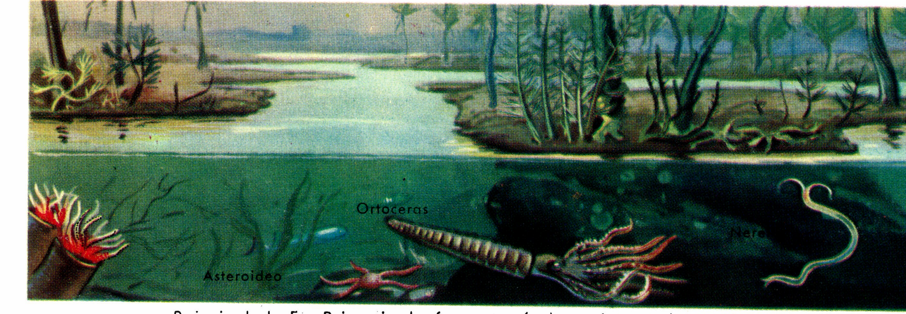
Salvo en regiones muy limitadas, a estos depósitos cámbricos siguen otros sedimentos marinos silúricos, que adquieren gran importancia en la fosa caledoniana en el Norte y en el mar Mesogeo en el Sur. Estos depósitos contienen los fósiles característicos de estos mares, los *graptolites*. La fauna marina progresa en organización; así en el sistema *Silúrico* abundan los equinodermos, los cefalópodos nautiloides, los trilobites llegan a su máximo apogeo y los vertebrados más antiguos, los peces acorazados u ostracodermos, hacen su aparición en el silúrico medio. Al final de este período, y a expensas de la fosa del mismo nombre, surge una potente cadena de montañas, consecuencia de la orogenia *caledoniana*, de la que son restos actuales los montes escandinavos y los highlands escoceses. La cadena caledoniana suelda los dos bloques continentales precámbricos y forma los primeros terrenos propiamente europeos, de 320 millones de años de edad, reducidos a su zona septentrional, unidos al viejo continente Nordatlántico y separados de Asia por la fosa del Ural; es el denominado *Continente des Vieux Grès Rouges*.

El continente formado al final del Silúrico se cubre durante el *Devónico* de formaciones detríticas continentales o lagunares, entre las que se hallan las primeras plantas vasculares en el fondo de antiguas turberas, y pronto aparecen las pteridospermas y demás vegetales, que adquieren su máximo desarrollo en el Carbonífero. Los peces ostracodermos y dipneos, y, entre los artrópodos, los *gigantostráceos*, pueblan las lagunas. Los primeros anfibios aparecen al final de este período. Al sur del continente existe un gran océano, en cuyas profundidades se fraguan la Europa Central y la plataforma rusa. La fauna marina se ha enriquecido con los primeros equínidos, los braquiópodos presentan su mayor diversidad de especies, entre los cefalópodos aparecen los primeros ammónidos y las islas se cubren de bellos arrecifes. Es un período de calma tectónica aparente, que se trunca al final por dos fenómenos geológicos estrechamente unidos: la *invasión marina dinantiana*, 280 millones de años, y la *orogenia herciniana*, 260 millones de años.

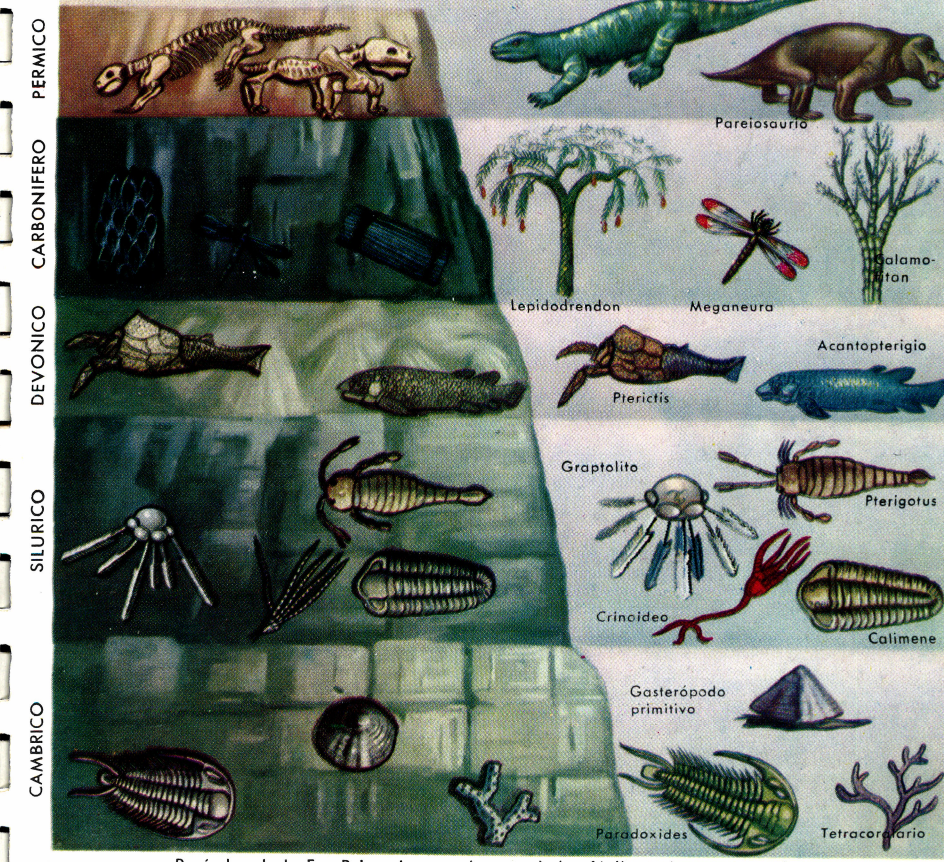
El océano, donde los peces son los verdaderos dueños, invade hacia el Norte las áreas continentales hasta Escocia, y hacia el Sur, la plataforma africana. Esta invasión marina es comparable a la ocurrida durante el Cámbrico y a la que ocurrirá en el Cretácico. Casi al mismo tiempo, en pleno océano surge una poderosa cadena de montañas que constituirá la osamenta central de Europa: es la orogenia *herciniana*; deja entre ella y las tierras septentrionales una gran depresión marina que se rellenará lentamente, las *lagunas westfalianas*. Hoy en día, sus restos forman la Selva Negra, Meseta Central, Vosgos, Ardenas, Bohemia, etc., y más al Sur la zona axial de los Pirineos y los macizos cristalinos externos de los Alpes. En su origen debió ser una cordillera de gran altura y volumen, como demuestran los bloques que se encuentran en los conglomerados carboníferos. Europa no debe su existencia a Asia, sino que es de origen autóctono, de 260 millones de años de edad, y separada de Asia, al nacer, por la fosa del Ural, y a la que no se unirá hasta 50 millones de años después, en pleno Pérmico.

Ante este poderoso empuje orogénico, los mares reculan dejando en el continente lagunas, que se rodean de bosques inmensos, donde los lepidodendron, los helechos arborescentes, las grandes equisetales y las primeras gimnospermas se desarrollan ampliamente. Los mares efectúan incursiones regulares sobre estas áreas continentales, pero cada vez con menor potencia: *se está en pleno período de regresión marina.* Las grandes regiones hulleras de Inglaterra, Francia, Holanda, etc., se forman en este período, en el que los sedimentos continentales, con gran ma-

ERA PRIMARIA



Paisaje de la Era Primaria. La fauna terrícola está poco desarrollada.



Períodos de la Era Primaria con algunos de los fósiles más característicos.

yoría de restos vegetales gigantes, quedan depositados en dos grandes cuencas, la *parálica*, próxima al mar, y la *límnica* o interior. Durante este sistema, conocido por *Carbonífero*, el reino animal se sitúa definitivamente sobre los continentes, apareciendo los reptiles, primeros vertebrados que ponen sus huevos sobre tierra; los artrópodos, por medio de los insectos, que pululan en las selvas carboníferas, inician la conquista de los aires. Al final del Carbonífero medio, la Europa Central se suelda a la Septentrional por medio de un débil empuje orogénico que, a su vez, disloca la cuenca franco-belga-westfaliana, con lo que cesa la deposición de hulla en ella.

El Carbonífero se termina con la *inundación autuniana*, que, perjudicando a las selvas, impide la formación de grandes capas de restos vegetales; el clima se vuelve cada vez más árido, y la erosión actúa enérgicamente, produciendo sedimentos rojos que llenan los lagos de esta época.

El Paleozoico termina con el sistema *Pérmico*, en el que se produce la erosión total de la cordillera herciniana hasta su transformación en la penillanura del mismo nombre. En este período la fosa del Ural entra en evolución y emerge, soldando la Europa Central con Asia; este fenómeno ocurre hace 200 millones de años, al final del Pérmico, y a partir de este momento el bloque euroasiático formado permanecerá unido hasta nuestros días.

Mientras todo lo descrito sucedía en el hemisferio Norte europeo, en el bloque nordatlántico se producía una potente orogenia, aproximadamente al final del Carbonífero, creando la cordillera de los *Apalaches*, y en el hemisferio Sur existía un inmenso continente, el *continente de Gondwana*, que ocupaba Africa, el Océano Indico, Insulindia, Australia y parte del Brasil.

ERA SECUNDARIA O MESOZOICA

Comparados con los paleozoicos, los tiempos mesozoicos aparecen como un período de calma relativa desde el punto de vista orogénico. Esta calma facilitó el desarrollo rápido del mundo vivo y la sedimentación marina continua, solamente interrumpida por los desplazamientos de las costas. No obstante, esta calma es solamente aparente, ya que en algunas regiones del Globo surgen potentes cordilleras, como la *cordillera andina* entre el Jurásico y el Cretácico, y aun en las regiones europeas se fraguan los geosinclinales que serán responsables de la formación de las grandes cordilleras terciarias.

El mundo animal mesozoico está dominado en talla y perfección por los *reptiles*, nadadores en los mares, como los ictiosaurios; marchadores en tierra, como los dinosaurios, y aun adaptándose al vuelo, como los pterosaurios. Los pájaros aparecen al final del Jurásico, habiendo sido precedidos por los mamíferos, ya que en el Jurásico medio se hallan dientes atribuibles con toda seguridad a mamíferos aplacentarios; no obstante, hasta el Eoceno, son criaturas muy débiles en comparación con los reptiles. Esta época marca el apogeo de los cefalópodos, pululando por los mares los *ammonites* y los *belemnites*. En cuanto al mundo vegetal, la era Mesozoica es el período de las coníferas y las cicadíneas, no hallándose rastro de dicotiledóneas hasta el principio del Cretácico.

En el sistema *Triásico*, Europa tiene aproximadamente el mismo aspecto que presentaba en el Devónico; está reducida a su mitad septentrional, cara a un océano tres veces mayor que el actual Mediterráneo, y cuyo fondo corresponde al futuro emplazamiento de la cordillera alpina.

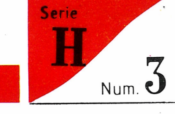
Al principio del *Jurásico* se produce una invasión marina, lenta y continua, que invade toda Europa, respetando únicamente las moles escandinavas y caledonianas y dejando reducida la parte central a tres grandes islas: es la *transgresión liásica*. Mientras durante todo el Paleozoico el Atlántico quedó reducido a su parte central, con un gran continente en su parte septentrional, durante el Jurásico avanza hacia el Norte, penetrando en este continente y hacia el Este, llegando hasta la Mancha e Irlanda del Norte; a partir de este momento las costas europeas tendrán al Océano Atlántico en su parte Oeste. Asimismo, el mar del Norte, desconocido en el Paleozoico, hace su aparición en el Jurásico. Es, pues, posteriormente al Triásico cuando Europa toma su forma actual respecto a los tres grandes mares que bañan sus costas, el Atlántico, el mar del Norte y el Mediterráneo. Finalmente, al término de este período se produce una gran regresión marina que libera la plataforma centroeuropea, apareciendo nuestro continente en la forma actual, si prescindimos de la cordillera alpina de su parte meridional.

Esta Europa no es definitiva: será sumergida nuevamente durante la gran *transgresión cretácica*. Empieza en el *Cretácico inferior*, y de manera conti-

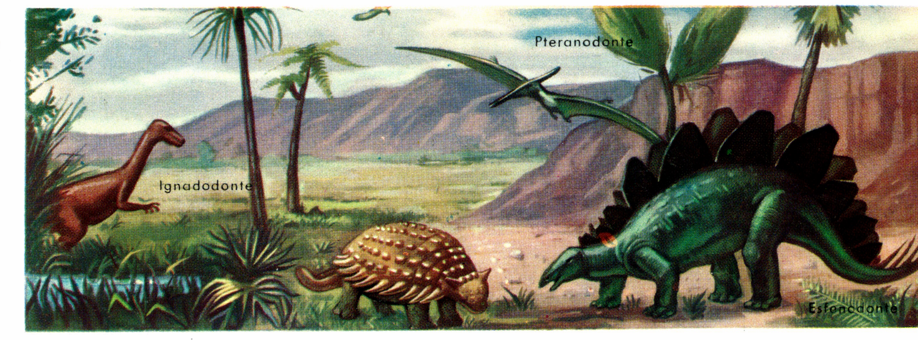
Atlas de GEOLOGIA

POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

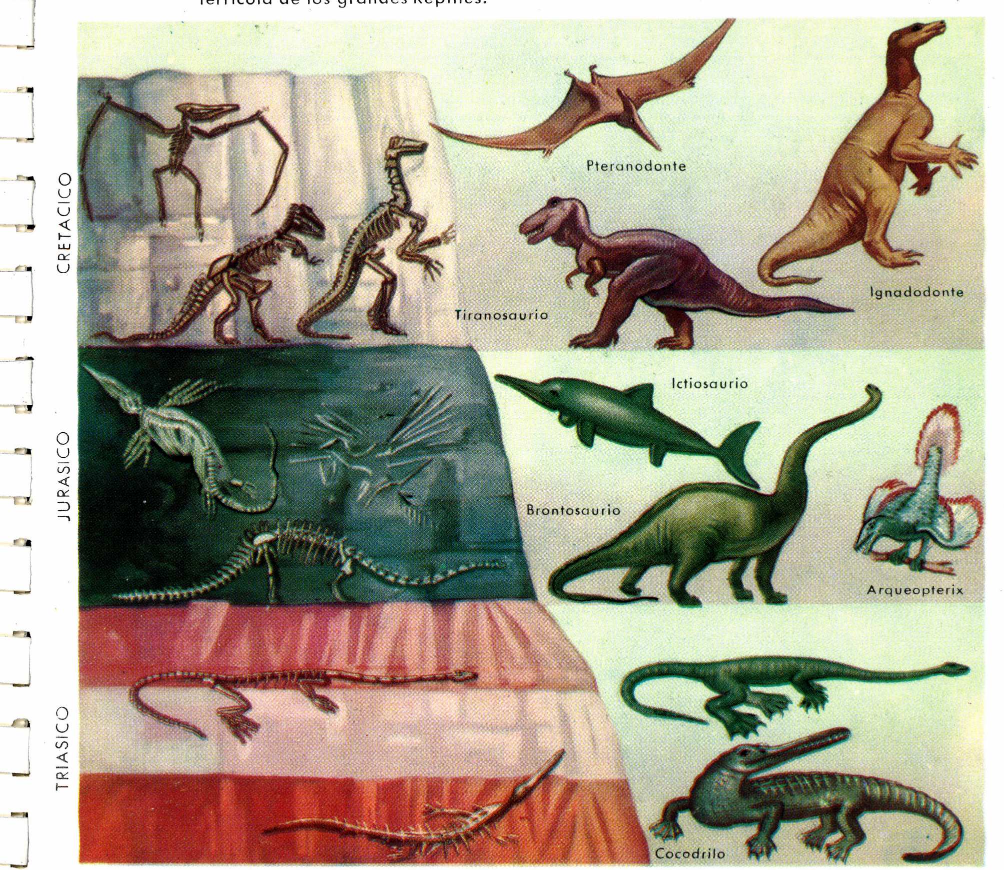
GEOLOGIA HISTORICA



ERA SECUNDARIA



Paisaje de la Era Secundaria. Obsérvense la preponderancia en la fauna terrícola de los grandes Reptiles.



Períodos de la Era Secundaria con algunos de los Reptiles fósiles más característicos.

nua invade la casi totalidad del continente, que queda reducido a una serie de islas, y del que sólo emerge completamente su parte septentrional, en este período unida a Asia. Parece que fuerzas malignas destruyan a este continente cada vez que se forma, reduciéndolo a su configuración devónica. No obstante, los mares que lo cubre son de poca profundidad, y al final del Cretácico emerge nuevamente, adoptando la forma que tenía en el período Jurásico.

ERA TERCIARIA

La era Terciaria, que se inicia hace 70 millones de años, se caracteriza por el gran desarrollo de los *mamíferos*. Los reptiles, dueños absolutos de la Tierra durante los tiempos secundarios, han desaparecido casi por completo, quedando únicamente algunos ejemplares de talla reducida, que han permanecido hasta nuestros días; durante el período de tiempo que separa el Cretácico del Eoceno tiene que haberse producido una variación climática enorme en la superficie terrestre que justifique, por falta de adaptación al medio, la desaparición de estos grandes animales. Pero, hasta hoy en día, el problema que esto significa está rodeado del más impenetrable misterio.

El continente europeo emergido al final del Cretácico queda, en parte, sumergido por la débil *transgresión eocénica*, que, aumentando el área del mar del Norte, no llega a invadir los restos hercinianos que separan una vertiente nórdica de otra mediterránea.

En el *Eoceno* inferior se produce la iniciación de la *orogenia alpina* con la formación de la cordillera pirenaico-provenzal, que, levantándose en el golfo nordpirenaico, lo vacía en el Atlántico. Al otro lado del Mediterráneo, y como réplica, se levanta la cordillera del Atlas sahariano. Este empuje orogénico levanta simultáneamente la cuenca parisina terciaria, separando el mar del Norte del Atlántico y quedando unida a lo que posteriormente será Inglaterra por el istmo de Calais.

Sin apenas tregua, y durante el *Oligoceno*, se produce la fase de mayor envergadura de la orogenia alpina con la formación de los Alpes. Simultáneamente, y como consecuencia de la acción tectónica, la parte central del continente bascula, permitiendo una invasión del mar del Norte, que lo fragmenta; pero el continente ha quedado definitivamente consolidado por la potente cordillera que ha aparecido en su parte Sur, aun cuando en estos momentos esté separada de él por una cuenca marina. La inundación oligocénica es de corta duración, y al final de este período la Europa Central emerge y se libera de una vez para siempre de las continuas invasiones marinas que a partir del principio del Mesozoico la habían reducido varias veces a un conjunto de islas.

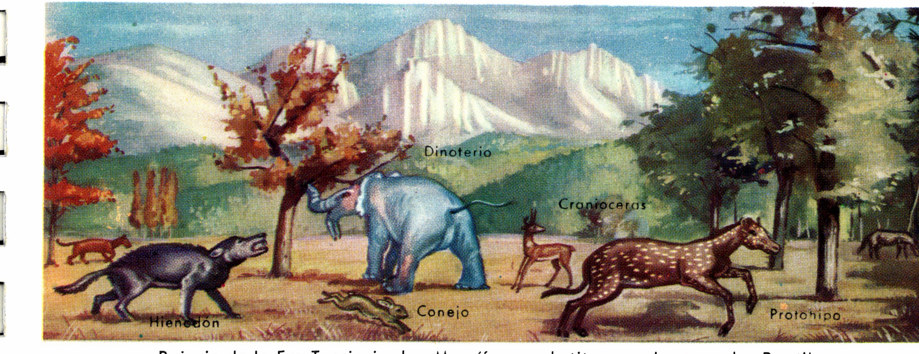
En el *Mioceno*, en el que el movimiento ascensional de los Alpes llega a su punto culminante, éstos aún están separados del continente por la *depresión helvética perialpina*, donde se acumulan las *molasas*, sedimentos detríticos procedentes de la erosión de la cordillera alpina. El Mediterráneo ha tomado casi la forma actual, pero en su parte oriental sumerge amplias zonas, donde posteriormente se formarán el mar Caspio y el mar Negro. Al principio del Mioceno, y durante el período en que el mar abandonaba la Europa Central, se produjo una transgresión débil y localizada en la parte meridional del continente, que invadió el valle del Ródano e irrumpió en Austria, formando la *cuenca intraalpina* de Viena. Es necesario llegar al final del período Mioceno para que se produzca la unión de la cordillera alpina con el continente; la cuenca perialpina se llena de molasas, primeramente marinas y después lacustres, y, con un nuevo empuje orogénico, la segunda fase alpina, que forma nuevos pliegues, emerge completamente y hace de los Alpes el bastión meridional del continente europeo.

El período *Plioceno*, época del hipparion y del mastodonte, no aporta modificaciones sustanciales a la distribución geográfica de la Europa que acaba de consolidarse; su edad puede fijarse en 12 millones de años, y en todo este período sólo sufrirá ligeros embates del mar, que volverá a sus líneas de partida rápidamente.

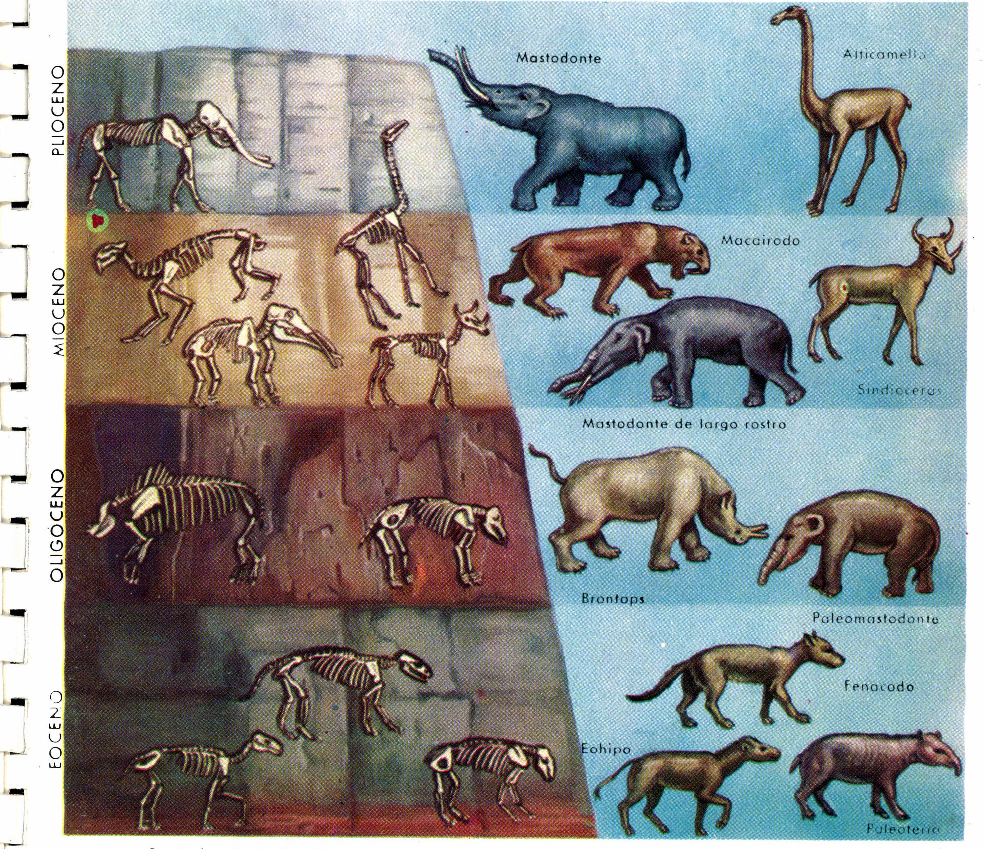
ERA CUATERNARIA

La época Cuaternaria se caracteriza por la aparición del hombre sobre la Tierra. El momento, crucial para la historia de la Humanidad, en que el hombre primitivo vive y desarrolla su inteligencia es un gran misterio que pertenece al Creador. El hombre actual sólo puede llegar a conocer la evolución que ha dado lugar a la creación de un ser a quien le fue otorgado el gran don de pensar; pero este tema cae dentro de la Paleontología humana y, más ampliamente, de la Paleontología evolutiva, ambas ciencias de naturaleza más biológica que geológica.

ERA TERCIARIA



Paisaje de la Era Terciaria. Los Mamíferos substituyen a los grandes Reptiles desaparecidos.



Períodos de la Era Terciaria y algunos de los Mamíferos fósiles más característicos.

El hecho sobresaliente de la época Cuaternaria es un enfriamiento del planeta que recuerda los que se produjeron en el Infracámbrico y en el Pérmico, y que divide a esta época en tres grandes períodos en función de este fenómeno: período *periglaciar, glaciar* y *postglaciar*.

El Cuaternario se inicia con la regresión marina que marca el final del Plioceno, y que es el momento en que desaparecen los hipparion y aparecen los géneros elephas, equus, bos y camelus; esto caracteriza la fauna denominada *villafranquiense*. Asimismo se conocen los antropoides. El mar preglaciar está en regresión con respecto al mar pliocénico, encerrando una fauna marina caliente que apenas difiere de la del Mediterráneo actual. Las condiciones climáticas son semejantes a las del Plioceno.

El primer enfriamiento se produce al principio del *Pleistoceno medio*, y se acusa en los mares por la aparición de moluscos boreales en las latitudes mediterráneas y el descenso de los glaciares alpinos empujando las morrenas denominadas de Mindel-Günz. A esta primera glaciación sigue un período de aumento de temperatura; la fusión de los hielos marca una transgresión marina, y los sedimentos de esta época se caracterizan por la aparición de una fauna caliente senegalesa en las latitudes mediterráneas.

Las primeras muestras de piedra tallada se sitúan en el primer período interglaciar y se suponen producidas por el *Maueranthropus* y, sobre todo, por el *Atlanthropus* (descubiertos por Arambourg y Hoffstetter cerca de Orán). Estos precursores del hombre vivían conjuntamente con una fauna caliente terrestre de la que son ejemplares el elephas antiquus, el rhinoceros Mercki y el hippopotamus major.

A continuación se produce un nuevo enfriamiento de mayor intensidad, que es el responsable de las morrenas del Riss y de que el pingüino ártico descienda hasta la Europa Central. El cambio climático es de tal magnitud que la fauna caliente europea es sustituida por una fauna típicamente polar, como el mamut, el rinoceronte lanoso y el reno. El Homo neandertalensis habita durante este período. La fusión de los hielos producida por el aumento de temperatura subsiguiente produce una nueva transgresión marina de poca magnitud que produce la inmersión de Holanda y la Prusia Oriental.

El período *postglaciar holocénico* se inicia por la desaparición de los hielos de Europa, pero queda un clima muy frío, el denominado *tardiglaciar*, caracterizado por fenómenos niveoeólicos y por la persistencia del reno como animal de nuestras latitudes. Posteriormente, el aumento progresivo de la temperatura marca la aparición de bosques y de la fauna típica actual. Durante este período hay pruebas de la existencia del Homo sapiens, cuya aparición se remontaría a 50.000 años.

Los sedimentos cuaternarios, base de la fertilidad de la mayoría de nuestros valles y consecuencia de la erosión de las grandes cordilleras terciarias, también han sido divididos en *aluviales* y *diluviales*, de acuerdo con su deposición en el período glaciar o postglaciar.

Finalmente indicaremos que las últimas transformaciones ocurridas en el Cuaternario son exactamente iguales a las que suceden en la actualidad, ya que unos millares de años son una pequeñísima fracción de tiempo geológico.

(Viene de la lámina B/2.)

licato alumínico potásico muy puro, de aspecto vítreo, claro y transparente o translúcido, cristalizado según rombo-edros groseros, muy frecuente y característico de las grietas alpinas; y 3) **Sanidina,** que se presenta en rocas volcánicas jóvenes como cristales incluidos que contienen gran cantidad de sodio, siendo su aspecto vítreo, claro y transparente.

Los principales feldespatos triclínicos son: la Microclina y las Plagioclasas.

(Viene de la lámina B/8.)

ma para la metalurgia del aluminio, siendo, por otra parte, este metal uno de los más abundantes de la corteza terrestre. La composición mineralógica de la Bauxita es hoy perfectamente conocida, estando formada por tres minerales: Hidrargilita, $Al(OH)_3$, Diásporo, AlOOH, y Alumogel, $Al_2O_3.xH_2O$. Los yacimientos de bauxita más importantes del mundo son los de la Guayana, Istria (Yugoslavia) y Arkansas (Estados Unidos).

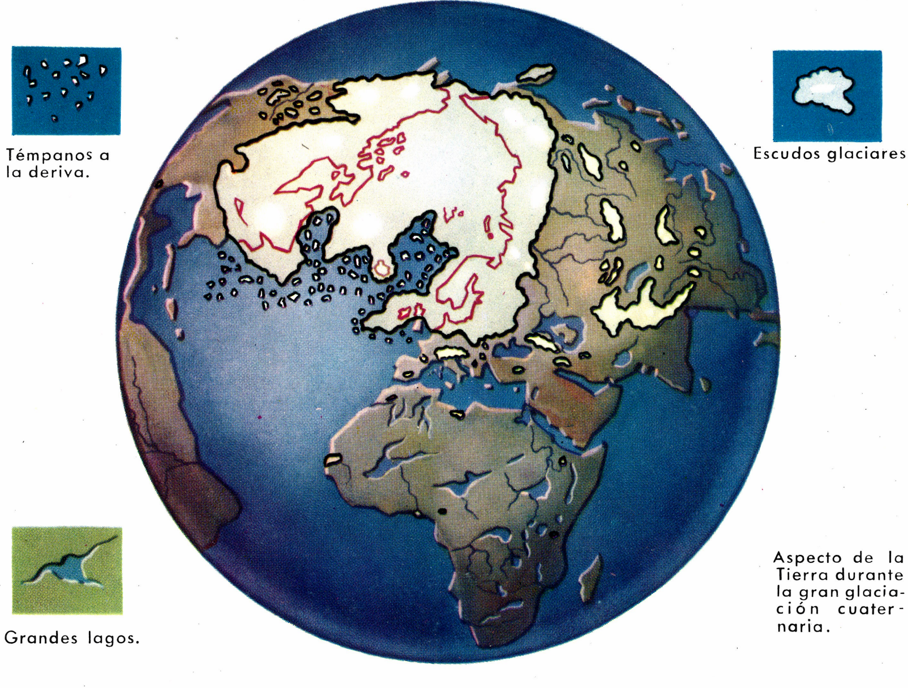
Atlas de GEOLOGIA



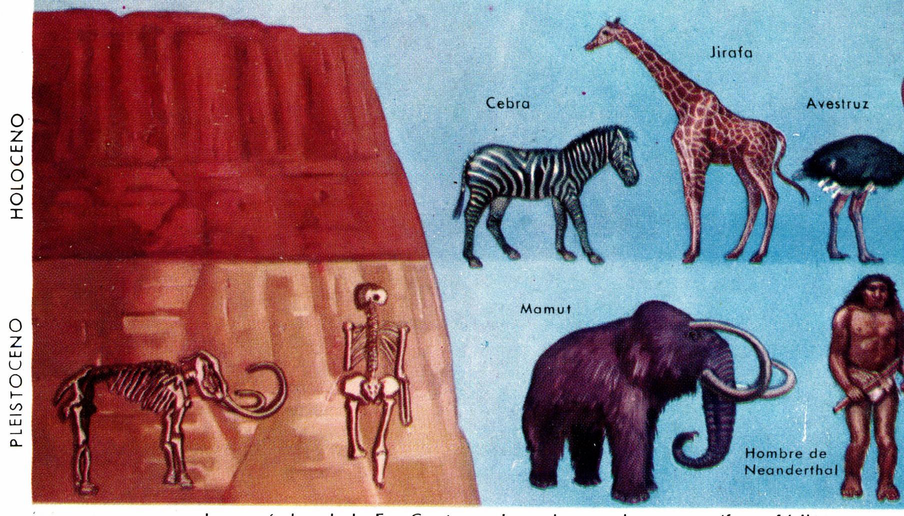
POR M. FONT-ALTABA Y A. SAN MIGUEL ARRIBAS

GEOLOGIA HISTORICA

ERA CUATERNARIA



Aspecto de la Tierra durante la gran glaciación cuaternaria.



Los períodos de la Era Cuaternaria y algunos de sus mamíferos fósiles más característicos.

CUADRO DE MATERIAS

INDICE

Los dibujos que ilustran esta obra han sido ejecutados por D. Santiago Prevosti Pelegrín, Srta. Montserrat Fabra Hernández y D. Carlos Gutiérrez Marín, bajo la dirección de D. José M.ª Thomas - Doménech, colaborador del C.S.I.C.

Las fotografías proceden del archivo particular del Dr. D. Alfredo San Miguel Arribas, del archivo de la Editorial y de la Sección Petrográfica del Museo Martorell de Barcelona.